ДЖЕЙМС
ГЛИК

ГЕНИЙ

ЖИЗНЬ И НАУКА РИЧАРДА ФЕЙНМАНА

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Эта книга о жизни и работе нобелевского лауреата по физике Ричарда Фейнмана. Доступное описание физических вопросов и факты из жизни ученого делают рассказ интересным для всех, кто интересуется историей науки.

- Джеймс Глик Гений. Жизнь и наука Ричарда Фейнмана
  - Эту книгу хорошо дополняют:
  - Информация от издательства
  - Пролог
  - Фар-Рокуэй
    - * * *
    - Ни город, ни деревня
    - Рождение и смерть
    - Это того стоит
    - Школьные годы
    - Все тела состоят из атомов
    - Век прогресса
    - Ричард и Джулиан
  - Массачусетский технологический институт
    - * * *
    - Оптимальный путь
    - Социализация инженера
    - Новейшая физика
    - Мастера
    - Фейнман, конечно, еврей
    - Внутримолекулярные силы
    - Достаточно ли он хорош?
  - Принстон
    - * * *
    - Чопорная деревня
    - Сгибы и ритмы
    - Вперед или назад?
    - Разумный человек
    - Мистер Икс и природа времени
    - Аура необыкновенного человека
    - Белая чума
    - Подготовка к войне
    - Манхэттенский проект
    - Начатое доведено до конца
  - Лос-Аламос
    - * * *

- Человек с портфелем
- Цепная реакция
- Линкор и Торпедный катер
- Диффузия
- Вычисления в уме
- Вычисления с использованием машин
- За забором
- Последняя весна
- Напрасные надежды
- Страх перед ядерной угрозой
- Я подожду
- Мы, ученые, умные люди

○ Корнелл
- * * *
- Университет в мирное время
- Сложные явления, простые правила
- Все они кажутся пылью
- В тупике
- Уменьшая бесконечность
- Дайсон
- Смутная картинка
- Слава Швингера
- Грохот моих шестеренок
- «Кроме того, Фейнман представил свою теорию»
- Американское путешествие с Фрименом Дайсоном
- Капитуляция Оппенгеймера
- Графики Дайсона, диаграммы Фейнмана
- Вперед, в чудесную страну

○ Калтех
- * * *
- «Сброд из Копакабаны»
- Увы, любовь!
- И снова к физике
- Квантовая жидкость
- Новые частицы, новый язык
- Мюррей
- В поисках гения
- Слабые взаимодействия
- Жизнь семейная
- От квантовой электродинамики к генетике
- Призраки и черви
- Меньше малого
- Все его знания

        - Первооткрыватели и туристы
        - Шведская премия
        - Кварки и партоны
        - Воспитывая юных
        - Думаете, вы будете жить вечно?
        - Вы, конечно, шутите
        - Технологическая катастрофа
    - Эпилог
    - Фото
    - Благодарности
    - Об авторе
    - Примечания
    - Библиография Фейнмана
    - Библиография
    - Источники иллюстраций
    - МИФ Научпоп
    - Над книгой работали
- notes
    - 1
    - 2
    - 3
    - 4
    - 5
    - 6
    - 7
    - 8
    - 9
    - 10
    - 11
    - 12
    - 13
    - 14
    - 15
    - 16
    - 17
    - 18
    - 19
    - 20
    - 21
    - 22
    - 23
    - 24
    - 25
    - 26

- ○ 27
- ○ 28
- ○ 29
- ○ 30
- ○ 31
- ○ 32
- ○ 33
- ○ 34
- ○ 35
- ○ 36
- ○ 37
- ○ 38
- ○ 39
- ○ 40
- ○ 41
- ○ 42
- ○ 43
- ○ 44
- ○ 45
- ○ 46
- ○ 47
- ○ 48
- ○ 49
- ○ 50
- ○ 51
- ○ 52
- ○ 53
- ○ 54
- ○ 55
- ○ 56
- ○ 57
- ○ 58
- ○ 59
- ○ 60
- ○ 61
- ○ 62
- ○ 63
- ○ 64
- ○ 65
- ○ 66
- ○ 67
- ○ 68
- ○ 69
- ○ 70

- ○ 71
- ○ 72
- ○ 73
- ○ 74
- ○ 75
- ○ 76
- ○ 77
- ○ 78
- ○ 79
- ○ 80
- ○ 81
- ○ 82
- ○ 83
- ○ 84
- ○ 85
- ○ 86
- ○ 87
- ○ 88
- ○ 89
- ○ 90
- ○ 91
- ○ 92
- ○ 93
- ○ 94
- ○ 95
- ○ 96
- ○ 97
- ○ 98
- ○ 99
- ○ 100
- ○ 101
- ○ 102
- ○ 103
- ○ 104
- ○ 105
- ○ 106
- ○ 107
- ○ 108
- ○ 109
- ○ 110
- ○ 111
- ○ 112
- ○ 113
- ○ 114

- ○ 115
- ○ 116
- ○ 117
- ○ 118
- ○ 119
- ○ 120
- ○ 121
- ○ 122
- ○ 123
- ○ 124
- ○ 125
- ○ 126
- ○ 127
- ○ 128
- ○ 129
- ○ 130
- ○ 131
- ○ 132
- ○ 133
- ○ 134
- ○ 135
- ○ 136
- ○ 137
- ○ 138
- ○ 139
- ○ 140
- ○ 141
- ○ 142
- ○ 143
- ○ 144
- ○ 145
- ○ 146
- ○ 147
- ○ 148
- ○ 149
- ○ 150
- ○ 151
- ○ 152
- ○ 153
- ○ 154
- ○ 155
- ○ 156
- ○ 157
- ○ 158

- ○ 159
- ○ 160
- ○ 161
- ○ 162
- ○ 163
- ○ 164
- ○ 165
- ○ 166
- ○ 167
- ○ 168
- ○ 169
- ○ 170
- ○ 171
- ○ 172
- ○ 173

Джеймс Глик Гений. Жизнь и наука Ричарда Фейнмана

Моим отцу и матери, Бету и Донен

Я родился, ничего не зная, и у меня было лишь немного времени, чтобы исправить это.

Ричард Фейнман

Эту книгу хорошо дополняют:

Сейчас
Физика времени
Ричард Мюллер

Глазами физика
Путешествие от края радуги к границе времени
Уолтер Левин и Уоррен Гольдштейн

Путешествия во времени
История
Джеймс Глик

Дао физики
Исследование параллелей между современной физикой и восточной философией
Фритьоф Капра

Ритм вселенной
Как из хаоса возникает порядок в природе и в повседневной жизни
Стивен Строгац

Информация от издательства

Научный редактор *Азат Гизатулин*
Издано с разрешения James Gleick c/o Carlisle & Co
На русском языке публикуется впервые

Глик, Джеймс
Гений. Жизнь и наука Ричарда Фейнмана / Джеймс Глик; пер. с англ. Ю. Змеевой, Е. Кротовой; [науч. ред. А. Гизатулин]. — М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018.
ISBN 978-5-00117-609-1

Эта книга — о жизни и работе нобелевского лауреата по физике Ричарда Фейнмана. Прекрасный язык, доступное описание сложных физических проблем, проступающий сквозь страницы магнетизм личности ученого делают рассказ интересным не только для физиков, но и для всех, кто интересуется историей науки.

Все права защищены.
Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© James Gleick 1992. All rights reserved.
© Перевод на русский язык, издание на русском языке, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2018

Пролог

«МЫ НИ В ЧЕМ НЕ МОЖЕМ БЫТЬ УВЕРЕНЫ, — такое обнадеживающее послание пришло в курортный городок Альбукерке[1] из засекреченного мира Лос-Аламоса[2]. — *Нам сказочно повезло в жизни*».

Придет время, когда создателей бомбы будут терзать демоны. Роберт Оппенгеймер не раз скажет о темной стороне своей души, а его переживания из-за того, что он открыл человечеству путь к самоуничтожению, почувствуют и остальные ученые-физики[3]. Среди них Ричард Фейнман был самым молодым и не так сильно ощущал ответственность за свои действия. Его скорее угнетала мысль, что знания отдаляют его от мира обычных людей, продолжающих жить так, как они жили раньше, и не замечающих роковой ядерной угрозы, которую несет с собой наука. К чему строить дороги и мосты на столетия? Если бы люди знали о том, что известно ему, вряд ли они стали бы утруждаться. Война закончилась. Начиналась новая эра науки, но это не приносило Фейнману спокойствия. Какое-то время он едва мог работать: днем это был молодой вспыльчивый профессор Корнеллского университета, вечером — страстный любовник, успевающий побывать и на тусовках первокурсников (где девушки косо поглядывали на танцующего, размахивающего ногами парня, утверждавшего, что он ученый, сконструировавший атомную бомбу), и в барах и борделях. Ричард производил неоднозначное первое впечатление на своих новых коллег-ровесников, молодых физиков и математиков. «То ли гений, то ли шут», — писал своим родителям в Англию одаренный молодой ученый Фримен Дайсон. Фейнман поразил его: оглушительный американец, непринужденный в общении и буквально пышущий энергией. Дайсону потребовалось некоторое время, чтобы понять, с какой одержимостью его новый друг погружался в недра современной науки.

Весной 1948 года двадцать семь физиков встретились в отеле в горах Поконо в Северной Пенсильвании, чтобы обсудить проблемы, возникшие в понимании сути теории атома. Мир еще не знал, что это именно они создали бомбу. С подачи Оппенгеймера, ставшего их духовным лидером, ученые собрали чуть больше тысячи долларов. Этого как раз хватало на оплату проживания, билетов на поезд и алкоголя. В истории науки этот случай предпоследний, когда ученые столь высокого уровня встретились без соблюдения церемоний и огласки. Они еще позволяли себе предаваться иллюзиям — надеяться, что их работа

останется обычным научным корпоративным проектом, незаметным для широкого круга общественности, как десять лет назад во время исследований в скромном здании в Копенгагене. Они еще не осознавали, насколько успешно им удалось убедить общественность и военных в том, что будущее высоких технологий — за физикой[4]. Встреча была закрытой. На нее пригласили только нескольких ученых, элиту физической науки. Никаких записей. Через год многие из присутствующих встретятся снова, загрузив в фургон Оппенгеймера пару грифельных досок и восемьдесят два бокала для коктейлей и бренди. Но к тому времени уже наступит совершенно новая эпоха физики. Наука выйдет на невиданный доселе уровень, а основоположники квантовой физики никогда больше не соберутся в частном порядке — только по работе.

Бомба показала возможности физики. Абстрактные чертежи оказались столь основательными, что смогли изменить историю. Однако в более спокойные послевоенные годы ученые хотя и осознавали хрупкость своей теории, но все же полагали, что квантовая механика позволяет делать пусть и приблизительные, но вполне работоспособные расчеты, касающиеся природы света и вещества. На поверку же теория оказалась неверна. И не просто неверна — бессмысленна. Кому понравится теория, безупречная при выполнении приблизительных расчетов и так нелепо рассыпающаяся при попытке сделать более точные вычисления? Европейцы, создавшие квантовую физику, делали все возможное, чтобы укрепить теорию. Но безуспешно.

Откуда могли они хоть что-то узнать? Масса электрона? Да ради бога! Приблизительные расчеты давали вполне приемлемые значения, при более точных получали бесконечность, — полнейший абсурд. Само понятие массы расплывалось: электрон, массу которого пытались рассчитать, не был полностью ни материей, ни энергией[5]. Фейнман же относился к проблеме крайне несерьезно. Его тонкую записную книжку оливкового цвета из магазина «Всё за доллар» заполняли в основном телефоны женщин и пометки *хорошо танцует* или *не звонить, когда у нее ПМС*. На последней странице этой книжки Фейнман однажды записал короткое хайку:

> Правило:
> Вы не можете утверждать, что А сделано из Б,
> Или наоборот.
> Любая масса — это взаимодействие.

Даже когда квантовая физика работала и позволяла

предсказывать, как будут протекать те или иные природные явления, ученые все равно испытывали чувство неудовлетворенности: слишком много белых пятен оставалось на картине, призванной, по их мнению, отражать реальность. Некоторые из них полагались на авторитетное мнение Вернера Гейзенберга[6] «Уравнению лучше знать». Но только не Фейнман. Впрочем, особенно и выбирать-то тогда не из чего было. Ученые не могли даже вообразить, что представляет собой атом, который они только что успешно расщепили. Они создали и сами же потом отбросили планетарную модель атома, в которой мельчайшие частицы вращались вокруг ядра, словно планеты вокруг Солнца. Теперь эту модель нечем было заменить[7]. Можно сколько угодно писать на досках числа и символы. Но картина по-прежнему размыта и неясна.

Ко встрече в Поконо Оппенгеймер достиг пика своей славы. Он уже считался героем — создателем атомной бомбы, но еще не стал злодеем и фигурантом судебных процессов по безопасности 1950-х. Номинально председателем был он, но на встрече присутствовали и более именитые ученые: Нильс Бор, создатель квантовой теории, прибывший из своего института в Дании; Энрико Ферми, разработчик цепной ядерной реакции, прибывший из лаборатории в Чикаго; Поль Дирак[8], британский физик-теоретик, чье знаменитое уравнение электрона как раз и способствовало возникновению кризиса[9]. Все они были нобелевскими лауреатами. Большинство участников встречи, за исключением Оппенгеймера, либо уже получили премию, либо готовились к этому в будущем. Впрочем, некоторые европейские ученые отсутствовали. Например, Альберт Эйнштейн, привыкавший к роли заслуженного пенсионера. В остальном же в Поконо собрался весь цвет современной физики.

Когда слово взял Фейнман, уже стемнело. Стулья сдвинулись. Светила не совсем понимали, что хочет сказать этот порывистый молодой человек. Большую часть дня они слушали виртуозный доклад ровесника Фейнмана Джулиана Швингера из Гарвардского университета. И хотя за рассуждениями Швингера уследить было трудно (опубликованная позднее работа нарушала правила журнала Physical Review не использовать формулы, не умещающиеся на ширине страницы), доказательства он представил вполне убедительные. Фейнман же предлагал их вниманию все меньше и меньше столь тщательно выписанных уравнений. Эти люди знали его по работе в Лос-Аламосе, кто-то лучше, кто-то хуже. Сам Оппенгеймер в приватных беседах отмечал Фейнмана как самого одаренного молодого физика, участвовавшего в разработке атомной бомбы. Как Фейнману

удалось заработать такую репутацию, точно объяснить никто из них не мог. Некоторые из присутствовавших знали, какой вклад он внес в создание ключевого уравнения мощности ядерного взрыва (хотя до сих пор эти данные засекречены, несмотря на то что немецкий шпион Клаус Фукс оперативно передал их своим недоверчивым руководителям в Советском Союзе). Знали они и о его теории преддетонации, оценивающей вероятность того, что ядерная реакция в большей части урана может начаться преждевременно. И хотя никто ничего конкретного о научных достижениях Фейнмана не знал, все признавали его нестандартное мышление. Все помнили, как он спроектировал первый крупномасштабный вычислительный комплекс — гибрид новых электромеханических калькуляторов и команды женщин, использующих перфокарты. Все помнили, как он буквально завораживал своими лекциями по элементарной арифметике, как неистово нажимал кнопку в игре, пытаясь столкнуть два электронных поезда, как мог демонстративно неподвижно сидеть в военном грузовике, освещаемый бело-сиреневой вспышкой мощнейшего взрыва столетия.

И вот теперь, выступая перед своими более зрелыми коллегами, собравшимися в гостиной поместья Поконо, Фейнман понял, что испытывает замешательство, причем это чувство стало усиливаться. Он нервничал, хотя для него это было нехарактерно. Он не выспался. И, конечно же, он тоже слышал прекрасное выступление Швингера и опасался, что его собственное на таком фоне будет выглядеть недоработанным. Фейнман пытался объяснить новый метод, позволяющий делать более точные вычисления, в которых так нуждались физики. Пожалуй, нечто большее, чем метод — новое в*и*дение, своего рода танец, потрясающая картина, составленная из частиц, символов, стрелок и пространств. Идеи и предположения выглядели непривычными, а слегка взбалмошный стиль Ричарда раздражал некоторых европейцев. Его пронзительные гласные, напоминавшие городской шум. Согласные, которые он глотал на манер представителей низших слоев общества. Фейнман слегка раскачивался на месте, переминаясь с ноги на ногу, и постоянно крутил кусочек мела между пальцами. До его тридцатилетия оставалось несколько недель, и для мальчика-вундеркинда он был уже слишком стар. Он попытался опустить детали, которые могли вызвать вопросы, но опоздал. Эдвард Теллер, придирчивый венгерский физик, работавший после войны над проектом создания водородной бомбы «Супер», перебил его.

— А как же принцип запрета?[10] — спросил он.

Фейнман надеялся избежать этого вопроса. В соответствии с

принципом запрета только один электрон мог находиться в определенном квантовом состоянии. Теллер был уверен, что поймал Фейнмана, пытающегося вытащить двух кроликов из одной шляпы. В самом деле, в теории Фейнмана частицы, казалось, нарушали этот чтимый всеми принцип, возникший из ниоткуда.

— Это не важно, — начал Фейнман.

— С чего вы взяли?

— Я знаю, я работал с…

— Как такое возможно?! — заявил Теллер.

Фейнман рисовал на доске непривычные диаграммы. Он показал, что частица антиматерии движется в обратном направлении во времени. Это заинтриговало Дирака, ведь именно он первым заговорил о существовании антиматерии. И вот теперь уже Дирак задал вопрос о причинно-следственной связи.

— Они унитарны?

Унитарны! Да что он хотел этим сказать?

— Я объясню, — начал Фейнман, — и когда вы увидите, как это работает, вы сами решите, унитарны ли они.

Он продолжил, но время от времени в голове у него все еще звучало ворчание Дирака: «Они унитарны?»

Фейнман, блестящий в расчетах, профан в литературе, страстно преданный физике, дерзкий, когда дело касалось доказательств, в этот раз переоценил свою способность произвести впечатление на этих великих ученых и убедить их. Однако, по правде говоря, ему удалось найти то, что безуспешно искали его старшие коллеги — способ вывести физику на совершенно иной уровень. Он заложил теоретические основы новой науки, которая объединила прошлое и будущее в величественном полотне. Дайсон, друг Ричарда по Корнеллскому университету, по этому поводу заметил: «Это удивительный взгляд на мир как на переплетения мировых линий в пространстве и времени, где все находится в свободном движении. Это обобщающий принцип, способный объяснить все или не объяснить ничего».

Физика XX века оказалась в сложной ситуации. Представители старшего поколения искали способы, позволяющие им обойти ограничения при проведении расчетов. И хотя слушатели Фейнмана были открыты новым идеям молодого физика, все же над ними властвовали привычные представления о мире атомов. Нельзя сказать, что ученые придерживались единой точки зрения, их взгляды различались, но четкого понимания происходящих процессов не было ни у кого. Одни были сторонниками волновой теории — «математических волн»,

движущихся из прошлого в настоящее. Часто, впрочем, волны вели себя как частицы, подобные тем, траектории которых Фейнман рисовал и стирал на доске. Для других же математические расчеты, цепочки сложных вычислений, в которых символы были своего рода камнями, позволяющими пройти по призрачной дорожке в тумане, служили просто прикрытием. Их система уравнений отражала микроскопический невидимый мир, игнорирующий логику поведения простых объектов, таких как движение бейсбольного мяча или волн на поверхности воды. Совершенно обычных явлений, у которых, как написал в своем стихотворении Уистен Оден,

> Слава богу, и масса определена,
> А не абстрактная бурда,
> Которая частично где-то.

Фейнман ненавидел это стихотворение.

Объекты, которые изучала квантовая механика, всегда находились где-то в другом месте. Диаграммы же, напоминающие узоры мелкоячеистой сетки, которые Фейнман вырисовывал на доске, были, напротив, довольно определенными. Траектории выглядели классическими благодаря своей точности и четкости. С места поднялся Нильс Бор. Он знал этого молодого физика еще со времен Лос-Аламоса, они тогда открыто и рьяно спорили, и Бор искал личной встречи с Ричардом, потому что ценил его честность. Но теперь его обеспокоили заключения, которые Фейнман делал, анализируя линии на своих диаграммах. Частицы у него, казалось, двигались по траекториям, четко зафиксированным во времени и пространстве. Но так быть не могло согласно соотношению неопределенностей[11].

— Мы уже знаем, что классическое представление о движении частицы по определенной траектории не работает в квантовой механике, — сказал Бор.

По крайней мере, это то, что услышал Фейнман. Мягкий голос и знаменитый датский акцент Бора заставляли всех напрягаться, чтобы понять суть. Бор вышел и произнес долгую уничижительную лекцию о принципе неопределенности. Фейнман, удрученный, стоял в стороне. Но он не показал своего отчаяния. Тогда в горах Поконо одно поколение физиков сменялось другим. И эта смена поколений не была столь очевидной и неизбежной, как оказалось потом.

Создатель квантовой теории, яркий молодой лидер проекта атомной бомбы, разработчик универсальной диаграммы Фейнмана, страстный любитель игры на бонго, прекрасный

рассказчик, Ричард Филлипс Фейнман — выдающийся физик современности. В 1940-х годах на основе частично разработанных волнового и корпускулярного подходов он создал понятный инструмент, которым мог пользоваться любой физик. Фейнман обладал невероятной способностью проникать в суть проблемы. В среде ученых, организованной, приверженной традиционной культуре, нуждающейся в героях так же страстно, как в их ниспровержении, имя Ричарда обрело особый блеск. Его называли *гением*. Он оставался центральной фигурой в течение сорока лет, возглавляя послевоенную науку. Сорок лет, которые изменили представление о материи и энергии и направили тех, кто их изучал, в непредсказуемый и таинственный мир. Работа, показавшаяся такой невнятной собравшимся в горах Поконо, в итоге объединила в совершенную концепцию все существовавшие феномены в области света, радио, магнетизма и электричества. За нее Фейнман получил Нобелевскую премию.

Столь же значительны по крайней мере три из его дальнейших достижений: теория сверхтекучести, объясняющая поведение жидкого гелия, способного течь без трения; теория слабых взаимодействий, описывающая реакции радиоактивного распада; теория о существовании гипотетических частиц, находящихся внутри ядра атома, положенная в основу современного представления о кварках.

В основе новых, понятных лишь немногим открытий Фейнмана лежало его в*и*дение процессов взаимодействия частиц. Он постоянно искал новые загадки. Он не мог или скорее не хотел по-разному относиться к решению престижных вопросов физики элементарных частиц и случаев более скромных и тривиальных, которые, казалось бы, связаны с наукой прошлого века. Со времен Эйнштейна никто больше не работал над решением такого широкого спектра задач. Фейнман изучал трение на гладко отполированных поверхностях, надеясь (по большей части напрасно) понять принцип трения как таковой. Он пытался разобраться, как ветер образует волны в океане, и позднее заключил: «Мы ставим ногу в трясину, а поднимаем ее уже всю в грязи». Он изучал связь между упругими свойствами кристаллов и энергией атомов, из которых они состоят. Он применил теоретические знания к экспериментальным данным, относящимся к изготовлению плоских моделей из бумаги, называемых флексагонами. Он добился заметного прогресса — хотя его самого это не удовлетворило — в создании квантовой теории гравитации, которую упустил из виду Эйнштейн. В течение многих лет он пытался проникнуть в суть процесса турбулентности в газах и жидкостях. Фейнман вывел физику на

принципиально новый уровень, сделал ее престижной наукой, что само по себе во много раз превосходит все его научные заслуги. Он стал легендой еще до своего тридцатилетия, когда опубликовал разве что докторскую диссертацию (довольно глубокую, но мало кем понятую) и несколько секретных документов по проекту в Лос-Аламосе. Мастер вычислений, он впечатлял тем, что буквально прорубал путь к решению сложных проблем. Выдающиеся ученые, считавшие себя беспрекословными авторитетами, увы, безнадежно проигрывали в сравнении с Фейнманом. Таким загадочным обаянием, как у него, мог обладать разве что гладиатор или чемпион по армрестлингу. Проявлению его личных особенностей не препятствовали ни звания, ни соблюдение внешних приличий, что подчеркивало его незаурядный ум. Английский писатель Чарльз Сноу, изучавший сообщество физиков, полагал, что Фейнману не хватает «солидности», свойственной его старшим коллегам. «Немного странно… — писал Сноу. — Он бы усмехнулся, если бы уличил себя в величественной недоступности. Он ведет себя как шоумен и наслаждается этим… Словно сам Граучо Маркс[12] внезапно возникает перед учеными». Он напоминал Сноу Эйнштейна, к тому времени такого вылизанного и великого, что мало кто помнил, каким «веселым мальчишкой» тот был во времена своих открытий. Возможно, и Фейнман бы вырос в столь же монументальную фигуру. А возможно, и нет. Сноу писал: «Молодым было бы интересно встретиться с Фейнманом, когда он достигнет преклонного возраста».

Команда физиков, собранная для работы над «Проектом Манхэттен», пообщалась с Фейнманом в Чикаго, где тот решил задачу, над которой они безрезультатно бились уже месяц. «Мы видели только вершину айсберга величайшего ума», — заметил один из них позже. Однако их не могла не поразить непринужденная манера общения Фейнмана и его достижения. «Его, в отличие от большинства молодых ученых, явно не сдерживали довоенные стереотипы. У него была впечатляющая осанка танцора, быстрая речь с бродвейским выговором, куча заготовленных выражений дамского угодника и невероятно энергичная манера разговаривать». Физики быстро распознавали его театральный стиль, когда он, переступая с ноги на ногу, читал лекции. Все знали, что он не способен долгое время высидеть на месте. А если такое случалось, он комично ссутуливался, чтобы через мгновение выпрыгнуть с каким-нибудь неудобным вопросом. Европейцам вроде Бора его голос казался типично американским, напоминающим скрип наждачной бумаги, самим же американцам слышался грубый нью-йоркский выговор. Но как

бы там ни было, «у нас у всех оставалось неизгладимое впечатление, будто мы столкнулись со звездой, — заметил другой молодой физик. — Слова лились из него как свет. Разве не это блестящее качество древние греки называли арете?[13] Так вот, он обладал им».

Новизна и оригинальность манили Фейнмана. Он считал, что должен создавать новое исходя из основных принципов, — опасное по своей сути качество, приводящее зачастую к неудачам или пустой трате времени. Он часто ошибался, испытывая непреодолимое желание ухватиться за глупую идею, выбрать неверный путь. Эта черта характера компенсировалась с лихвой блистательным интеллектом. «Дик мог достичь чего угодно, потому что был чертовски умен, — заметил один из теоретиков. — Он мог бы даже на Монблан взойти босиком». Исаак Ньютон говорил, что стоял на плечах гигантов[14]. Фейнман же предпочитал стоять на своих двоих, извиваясь так и эдак. По крайней мере, так со стороны казалось математику Марку Кацу, который пересекался с ним в Корнеллском университете.

«Есть два типа гениев, — говорил он, — обычные и непостижимые. Обычным гением, в общем-то, мог бы стать каждый из нас, будь в сто раз способнее. В том, как работает их ум, нет ничего загадочного. Стоит понять, как они пришли к своим открытиям, и мы начинаем думать, что тоже могли бы сделать это. С непостижимыми гениями всё иначе. Говоря математическим языком, они лежат в области ортогонального дополнения нашей с вами реальности. И нам ни при каких условиях и обстоятельствах не дано постичь, как работает их ум. Даже если мы понимаем, что они сделали, нам никогда не понять, как они к этому пришли. Они редко берут студентов, потому что им невозможно подражать. А талантливым молодым умам невероятно досадно иметь дело с таким таинственным сознанием. Ричард Фейнман — непостижимый гений высшего уровня».

У Фейнмана вызывали негодование приукрашенные мифы, которыми изобилует история науки, мифы, вынуждающие делать ложные шаги и препятствующие прогрессу своими старомодными утверждениями. Но сам он создал собственный миф. Когда Фейнман вознесся на вершину научного пантеона, истории о его гениальности и похождениях стали своего рода видом искусства в среде ученых. Искрометные и смешные, все они постепенно сложились в легенду, от которой их главному герою редко удавалось отступить. Многие из них были записаны и опубликованы в 1980-х годах в двух книгах «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!»[15] и «Какое тебе дело до того, что думают

другие?»[16]. Неожиданно эти книги стали бестселлерами.

После смерти Фейнмана в 1988 году бывший когда-то его другом, коллегой, компаньоном, но в то же время и соперником американец Мюррей Гелл-Манн[17] возмутил семью Ричарда своим высказыванием на поминальной службе, заявив: «Ричард окружил себя пеленой мифов. Он тратил уйму времени и сил, рассказывая анекдоты о себе. В этих историях, — добавил Гелл-Манн, — он должен был выглядеть, по возможности, умнее остальных». Фейнман представал в них наглецом, бабником, шутом и простодушным ребенком. Во время работы над проектом атомной бомбы он стал «занозой в заднице» у военных цензоров. Во время расследования взрыва космического шаттла в 1986 году за ним закрепилась репутация отщепенца, вечно просачивающегося за ограждения в поисках истины. Он терпеть не мог напыщенности, условностей, шарлатанства и лицемерия. Он был тем самым мальчиком, закричавшим, что король голый. Но в то же время и Гленн-Ман по-своему прав. Легенды, ходившие о Фейнмане, порождали неверное представление о его достижениях, стиле работы и убеждениях. Его собственное мнение о себе скорее скрывало, чем обнажало его гениальность.

Его репутацию, не говоря уже о личности, можно сравнить с монументальным сооружением, возведенным среди остальных декораций современной науки. Диаграммы Фейнмана, интегралы Фейнмана, правила Фейнмана, сдобренные историями о Фейнмане, стали притчей во языцех среди физиков. Если молодой физик подавал надежды, о нем говорили: «Не Фейнман, конечно, но все же». Стоило ему войти в помещение, где собрались физики, — будь то студенческая столовая Калифорнийского технологического института или аудитория, в которой происходило научное совещание, — тут же всюду расползался шепот. Пространство словно колебалось от исходящих от него волн, нес ли он поднос или сидел в первом ряду. Даже старшие коллеги смотрели на него лишь украдкой, а на молодых физиков фейнмановское грубоватое обаяние оказывало неизгладимое впечатление. Они пытались подражать его манере письма и тому, как небрежно он бросал формулы на грифельную доску. В одной из групп даже провели полусерьезную дискуссию по вопросу, человек ли он. Они завидовали вдохновению, которое приходило к нему (во всяком случае, так им казалось) как вспышка. Восхищались и другими его качествами: верой в простые истины природы, скептическим отношением к официальным данным и нетерпимостью к посредственности.

Его считали великим педагогом. В реальности же редко у

кого из физиков даже средней руки было так мало студентов, которыми он непосредственно руководил: Фейнман постоянно уклонялся от обычных обязанностей преподавателей. Хотя научная стажировка оставалась одной из основных областей, где студенты могли совершенствовать свои знания, мало кому повезло проходить ее у Фейнмана. У него не хватало терпения, чтобы руководить студенческими исследовательскими работами, и перед теми, кто надеялся, что он будет их научным консультантом, Фейнман воздвигал огромные барьеры. В тех же редких случаях, когда Фейнман кого-то учил, он оставлял глубокий след. И хотя сам он не написал ни одной книги, в 1960-х годах были изданы его книги «Теория фундаментальных процессов»[18] и «Квантовая электродинамика»[19], оказавшие большое влияние на науку, которые по сути представляли собой немного отредактированные лекции Фейнмана, записанные его студентами и коллегами. В течение нескольких лет Фейнман читал свободный курс под названием «Физика Икс». Лекции проходили в подвальном помещении и предназначались только для студентов. Позже некоторые физики вспоминали его семинары как самый насыщенный интеллектуальный опыт за весь срок обучения. Помимо всего прочего, в 1961 году Фейнман пересмотрел и стал читать вводный курс физики в Калифорнийском технологическом институте. Два года первокурсники и второкурсники вместе с командой преподавателей-аспирантов изо всех сил старались постигнуть невероятную вселенную законов Фейнмана. В результате были опубликованы и стали знаменитыми «красные книги» — трехтомник «Фейнмановские лекции по физике»[20]. В них кардинально переосмысливался сам предмет изучения. Коллеги, составлявшие их, позже, несколько лет спустя, сочли эти книги слишком сложными для предполагаемых читателей. Профессора и практикующие физики, напротив, говорили, что эти три тома способны перевернуть их собственное представление о предмете. Они более чем авторитетны. Ученый, написавший множество знаменитых работ, мог просто сухо сослаться на них в манере «Книга вторая, глава 41, абзац 2».

Не менее авторитетны и взгляды Фейнмана на квантовую механику, научные методы, связь науки и религии, на то, какую роль играют красота и неопределенность в получении новых знаний. Свое мнение по этим вопросам Фейнман высказывал спонтанно, по большей части в техническом контексте. Они отражены и в двух небольших научных работах, опять же написанных по материалам его лекций: «Характер физических законов»[21] и «КЭД — странная теория света и вещества»[22].

Хотя Фейнман редко давал интервью, в научной среде его часто цитировали. Он ни во что не ставил философию, считая, что она зависит от веяний и недоступна для проверки. «Философы всегда делают свои глупые замечания со стороны», — сказал он однажды, и то, как он произнес само слово «философы», прозвучало насмешливо «фигософы». Но в то же время его влияние было философским, особенно если дело касалось молодых ученых. Вспоминается, например, его высказывание в стиле Гертруды Стайн[23] о продолжавшейся нервозности по отношению к квантовой механике, а точнее, «о взгляде на мир, который представляет квантовая механика»:

«Я еще не уверен на сто процентов, что реальной проблемы не существует. Я не могу определить реальную проблему, и поэтому предполагаю, что реальной проблемы нет. Но я все еще не могу точно сказать, что ее нет».

Позже самой цитируемой его метафорой стало выражение: «Постарайтесь не спрашивать себя „Как такое возможно?“, потому что с этим вопросом все ваши труды пойдут прахом. Ведь никто не знает до сих пор, как такое возможно».

Когда Фейнман оставался один, он с карандашом и листком бумаги часто работал над афоризмами, которые потом во время лекций казались отличной импровизацией.

«Чтобы сплести свои узоры, природа использует только самые длинные нити, поэтому в любом маленьком кусочке этой ткани раскрывается структура целого полотна».

«Почему мир такой, какой есть? Почему наука такова? Как нам удается открыть новые законы, описывающие царящее вокруг нас многообразие? Постигаем ли мы простую суть природы или просто отшелушиваем кожицу с луковицы с бесконечным количеством слоев?» Иногда Фейнман отходил от практических принципов и давал ответы на эти вопросы, хотя знал, что они философские и ненаучные. Немногие замечали, но его объяснения фундаментальных метафизических понятий простоты, доступности и сути всех вещей претерпевали изменения в течение его жизни.

Фейнмановское переосмысление квантовой механики не столько объясняло, каким был мир и почему он такой, какой есть, оно скорее учило, как смотреть на мир. Это был не ответ на вопросы «что» или «почему». Это был ответ на вопрос *как*. Как вычислить излучение света возбужденным атомом. Как оценивать экспериментальные данные. Как делать предположения. Как создать достаточно продуктивный инструментарий для выявления новых семейств частиц.

Существуют различные виды научных знаний, но Фейнмана

интересовала исключительно практическая сторона. По его мнению, знание не должно быть описательным, оно должно быть эффективным и действенным. В отличие от многих своих коллег, воспитанных в европейских традициях, Фейнман не интересовался живописью, не слушал музыку, не читал книг — даже научных. Он не позволял никому из ученых что-то подробно объяснять ему, чем приводил их в немалое замешательство. Он учился иначе, предпочитал получать знания, не опираясь на заранее составленное мнение. Во время работы над диссертацией он достаточно хорошо изучил биологию, что позволило ему внести пусть и небольшой, но довольно оригинальный вклад в понимание процессов генетических мутаций в ДНК. Однажды он предложил (а затем и выплатил) премию в одну тысячу долларов за разработку электромотора размером меньше полмиллиметра. Более позднее увлечение, когда Фейнман заинтересовался микромашиностроением, сделало физика интеллектуальным отцом целого сонма ученых, называющих область своих исследований нанотехнологиями. В юности он в течение многих месяцев подряд изучал на себе, что происходит с сознанием на стадии засыпания, а в зрелом возрасте экспериментировал, вызывая внетелесные галлюцинации, находясь в камере сенсорной депривации, с использованием марихуаны и без нее.

На его глазах физика распадалась на отдельные области знаний. Тем, кто изучал природу элементарных частиц, выделялась бо́льшая доля финансирования, и в то же время именно их деятельность вызывала основную часть жарких общественных дебатов. Они утверждали, что именно физика элементарных частиц стала самой фундаментальной наукой, вытеснив с пьедестала даже физику твердого тела (которую Гелл-Манн вообще называл убогой). Фейнман не признавал ни раздутых определений Теорий Великого объединения[24], ни пренебрежительного отношения к другим наукам.

Никогда не ставя какой-то из навыков выше или ниже остальных, Фейнман научился играть на ударных, делать массаж, рассказывать истории, клеить девушек в барах, считая, что всем этим можно овладеть, если знаешь правила. С легкой подачи своего куратора по Лос-Аламосу Ханса Бете, удивившегося, что Ричард не может извлекать корень из чисел в районе 50, он освоил некоторые хитрости умения считать в уме, хотя давно уже овладел более сложным искусством брать в уме производные и интегралы. Он научился пристраивать гальванизированные металлические палочки к пластиковым предметам — как кнопки радио. Он контролировал время в уме и заставлял муравьев двигаться в нужном направлении. Он без труда мог сыграть на

наполненных бокалах и играл весь вечер на приеме в честь несравненного Нильса Бора. Даже всецело поглощенный решением научных задач и конструированием атомной бомбы, он не упускал возможности научиться «обходить» механизм старого автомата по продаже лимонада, подбирал отмычки к замкам и даже вскрывал сейфы. Он умом понимал, как сделать это. Коллеги ошибочно полагали, что Фейнман кончиками пальцев способен уловить волны от падающего стакана. И небезосновательно, ведь день за днем они наблюдали, как Ричард крутится вокруг офисного сейфа.

Размышляя о том, как использовать атомную энергию в ракетах, Фейнман разработал реактивный двигатель ядерного реактора, не настолько совершенный, чтобы использовать его на практике, но достаточно убедительный, чтобы заинтересовать правительство и патентное бюро и тут же быть похороненным под грифом секретности. С не меньшим усердием, много позже, когда обзавелся семьей, домом и садом, он тренировал собаку выполнять нелогичные команды. Например, приносить носок, лежавший рядом, но идти к нему не кратчайшим путем, а через сад, переднюю дверь и назад. (Он проводил тренировку поэтапно, пока для собаки не становилось очевидным, что ей не надо двигаться напрямик.) Он учился искать людей так, как это делали охотничьи псы, улавливая следы тепла и запахов. Научился имитировать иностранные языки, издавая странные звуки губами и языком. (Друзья потом спрашивали, почему же он в таком случае не попытался смягчить свой грубый нью-йоркский выговор.) Фейнман создавал островки практических знаний в областях, расположенных в океанах своего невежества. Не умея рисовать, он научился чертить идеальные окружности на доске. Ничего не понимая в музыке, он поспорил со своей девушкой, что научится играть «Полет шмеля», но в этот единственный раз проиграл спор. Намного позже Ричард все-таки научился рисовать, когда стало модным изображать обнаженное женское тело. Как он сам говорил, это увлечение помогло ему обрести гораздо более интересный навык — умение уговорить девушку раздеться. Но за всю свою жизнь он так и не научился отличать лево и право, пока мама не показала ему родинку на его левой руке, и даже уже став взрослым, он всегда сверялся с этим ориентиром. Он научился держать публику во время исполнения своих далеко не джазовых и не этнических импровизаций на ударных. Он мог выдать двумя руками не обычный размер три вторых или четыре третьих, каким были обучены классические музыканты, но невообразимую, впечатляющую полиритмию в семь шестых или тринадцать двенадцатых. Он научился писать

по-китайски. Причем исключительно для того, чтобы насолить своей сестре, и поэтому знания его ограничивались фразой «Старший брат тоже может говорить». В эру, когда ускорители частиц высоких энергий стали играть такую важную роль в теоретической физике, он научился читать самые современные «иероглифы» — напоминающие кружева фотоизображения вспышек, возникающих при столкновении частиц в камерах Вильсона и пузырьковых камерах. Он не только «видел» новые частицы, но и отслеживал неуловимые траектории (треки) на грани систематической погрешности эксперимента. Он отшивал поклонников, преследующих его в надежде получить автограф, мастерски отказывался от приглашений прочитать лекции, скрывался от коллег, обращавшихся к нему с административными запросами. Он умел избавиться от всего лишнего и сосредоточиться на главной задаче. Он победил страх старения, который гложет всех ученых, и научился жить с раковой опухолью.

После смерти Фейнмана некоторые его коллеги попытались написать эпитафии. Швингер, с которым некогда они соперничали, выбрал такие слова: «Честнейший человек, обладатель величайшей интуиции нашего времени. Ярчайший пример того, что происходит, когда осмеливаешься не плясать под чужую дудку». Наука, созданная при помощи Фейнмана, совершенно уникальна. Она стала величайшим из его достижений, хотя порой и заставляла физиков следовать по сужающейся дорожке темного тоннеля. После своей смерти Фейнман оставил и еще кое-что. Пожалуй, величайшее его наследие — урок о том, каково знать наверняка хотя бы что-то в наш век самых смутных сомнений.

Фар-Рокуэй

* * *

Когда-то сборка и пайка радиоприемников представляла собой своеобразный творческий процесс. Теперь этого нет. Искусство ушло из радиолюбительства. Дети забыли, какую радость им доставляла возможность пробраться в кабинет родителей и разорить стоящие там радиоприемники. Теперь же беспорядочно расположенные внутри них лампы, переключатели и другие механизмы заменили компактные электронные блоки. Там, где когда-то можно было познавать мир, дергая спаянные провода и глазея на оранжевый румянец электронных ламп, стоят невыразительные готовые спрессованные микросхемы. Кремниевый транзистор, микроскопический и причудливый, вытеснил постоянно выходящие из строя хрупкие лампы. Так мир потерял протоптанную дорожку в науку.

В 1920-е годы, еще до появления твердотельной электроники, можно было, посмотрев на радиосхему, представить, как через ее элементы побежит поток электронов. Сходство электричества с жидкостью, протекающей по трубам, усиливалось за счет того, что в радиоприемниках использовались электронные лампы и клапаны, направляющие потоки электричества в нужном направлении. Один щелчок переключателя — и раздавалось не похожее ни на что шипение, иногда громкое, иногда едва слышимое. Позже кто-то сказал, что есть два вида физиков: одни в детстве увлекались химическими опытами, других же интересовали радиоприемники. У химии, несомненно, есть свое обаяние, но такой мальчик, как Ричард Фейнман, очарованный диаграммами и графиками, видел в радиосхемах нечто совершенно особенное. Едва научившись читать язык проводов, резисторов, детекторных кристаллов и конденсаторов, он понял, что каждая деталь выполняет свою функцию. Он собрал приемник, подключил к нему огромные наушники, купленные на барахолке, и слушал, забравшись под одеяло, пока не засыпал. Иногда родители подходили к спящему мальчику на цыпочках и снимали с него наушники. Если атмосферные условия позволяли, радиоприемник мог ловить сигналы, идущие издалека — из Скенектади, расположенного на севере Нью-Йорка, или даже из Техаса — со станции Уэйко. Приемник реагировал на прикосновения. Чтобы переключить канал, Ричард перемещал контакт через проволочную катушку. Все-таки радио отличалось от часовых механизмов со всеми их колесиками и шестеренками. Оно уже немного выходило за пределы механического мира. И таинство его было невидимым. Кварцевые кристаллы улавливали

волны электромагнитного излучения, несущиеся в эфире.

И в то же время никакого эфира не было. Субстанция, в которой могли бы распространяться эти волны, не существовала. Если бы даже ученые захотели представить радиоволны, распространяющиеся с идеальной периодичностью, как круги на поверхности воды, им пришлось бы признать, что эти волны распространяются в среде, которой в природе нет. Во всяком случае, так считали в эпоху создания теории относительности: Эйнштейн показал, что, если бы эфир существовал, он должен был бы оставаться неподвижным относительно любых наблюдателей, даже двигающихся в разных направлениях. Это невозможно. «Казалось, что эфир скрывался в стране призраков в последней попытке ускользнуть от пытливых поисков физиков», — писал математик Герман Вейль в 1918 году, в том году, когда родился Ричард Фейнман. Но тогда в какой среде распространялись радиоволны, преодолевая расстояние от антенны, расположенной в центре Нью-Йорка, до второго этажа небольшого деревянного каркасного дома Фейнманов на окраине?

В любом случае радиоволны лишь один из множества видов колебаний, разрывающих каждый клочок пространства. И хаотично взаимодействующие световые волны, по природе своей идентичные радиоволнам, но имеющие во много раз меньшие длины волн, и инфракрасные волны, воспринимаемые кожей как ощущение тепла; и зловещие рентгеновские волны; и высокочастотные гамма-лучи с длинами волн меньше размера атома, — все это разные ипостаси одного явления — электромагнитного излучения. И если и до изобретения источников электромагнитного излучения пространство сравнивалось с «электромагнитным Вавилоном», то радиопередатчики, созданные человеком, заполонили его еще больше. Обрывки голосов, случайные щелчки, свисты, странные шумы и звуки, вызванные прохождением радиоволн, проносились друг за другом в пространстве. И все эти волны существовали не в эфире, а в более абстрактной среде, понять природу которой физикам никак не удавалось. Они даже представить не могли, что это такое. Все, что у них было, — название. Электромагнитное поле, или просто поле.

Поле представлялось непрерывной поверхностью или объемом, проходя через который менялась какая-то физическая величина. Поле не вещество, но в то же время оно совершало колебания, вибрировало. Физики обнаружили, что колебания иногда проявляли себя как частицы, но это только еще больше все усложнило. Ведь если бы они были частицами, то должны были

бы проявлять волновые свойства. Только в этом случае мальчишки вроде Фейнмана смогли бы настроить свои приемники на определенную длину волны (частоту), каждая из которых приносила «Тень», «Дядю Дона»[25] или рекламу газировки. Научные обоснования были смутными, лишь узкий круг ученых, большинство из которых говорило по-немецки, имел некоторое представление о радиоволнах[26]. Однако для любителей, которые читали в газетах про Эйнштейна и размышляли над простотой устройства радиоприемников, суть этой магии была очевидна.

Многие будущие физики в юности увлекались радио и собирали радиоприемники. И неудивительно, что в то время когда о профессии *физика* мало кто знал, многие из них мечтали стать инженерами-электриками с хорошими зарплатами. Ритти — так друзья звали Ричарда — был мальчишкой целеустремленным. Он выискивал по окрестностям ламповые приемники и старые аккумуляторные батареи, собирал трансформаторы, переключатели и катушки зажигания. Например, катушка, снятая со старого автомобиля «Форд», могла ярко искриться, прожигая коричневые дырки в газете. Однажды Ритти нашел выброшенный реостат и пропустил через него 110 вольт. Реостат сгорел, а плохо пахнущие дымящиеся остатки Ричард выставил за окно своей спальни, расположенной на втором этаже, так что пепел кружил в воздухе и ложился на газон на заднем дворе. Он всегда так поступал в экстренных случаях. Если едкий запах просачивался в гостиную, где его мама играла в бридж, то это означало, что Ричард вытряхнул содержимое своей мусорной корзины в окно, ожидая, например, когда перестанет вспыхивать то, что осталось от гуталина после его очередного эксперимента. В этот раз он хотел растопить гуталин, чтобы получившейся черной краской покрасить свою «лабораторию» — деревянный ящик размером примерно с холодильник, стоявший в его комнате. К ящику были прикручены разные переключатели и лампочки, которые Ритти соединял последовательно и параллельно. Его сестра, которая была на девять лет младше, с удовольствием подрабатывала ассистентом в его лаборатории за четыре цента в неделю. В ее обязанности входило просовывать палец между электродами и терпеть легкий удар током. Это невероятно забавляло друзей Ритти.

Психологи уже поняли, что дети по сути своей — ученые, которые постоянно пробуют, ошибаются, экспериментируют, исследуют свою маленькую вселенную всеми мыслимыми и немыслимыми способами. У детей и ученых схожие взгляды на жизнь. *Что произойдет, если я это сделаю?* — девиз детских игр и

ученых-физиков. Каждый ребенок — наблюдатель и аналитик. Каждый жаждет описать вещи и явления, выстраивает свои познания в цепочки интеллектуальных открытий, придумывает теории и отбрасывает их, когда они не работают. Непонятное, странное — вот что притягивает детей и ученых. И никто из них не может рассчитывать в полной мере на то, что ему предоставят лабораторию, реостаты или дадут ассистента. Ричард Фейнман был неутомим в желании заполнить свою спальню всеми атрибутами и устройствами, необходимыми для научных экспериментов.

Ни город, ни деревня

Прекрасная жизнь была у детей в Фар-Рокуэй, деревушке с пляжем, расположившейся на юге Лонг-Айленда, где на площади порядка одного квадратного километра выстроились каркасные коттеджи и кирпичные многоквартирные дома. В 1898 году Фар-Рокуэй вместе с более чем шестьюдесятью другими такими же поселениями вошла в состав Куинса — района Нью-Йорка. Город щедро вкладывался в эти маленькие районы, тратил десятки миллионов долларов на подведение воды и канализации, строительство дорог и общественных зданий. Однако в первой половине XX века, до того как линии подземки добрались до заброшенного берега залива Джамейка, Нью-Йорк, казалось, находился далеко-далеко. В центр добирались по железной дороге Лонг-Айленда. К востоку от Фар-Рокуэй находился городок Нассо. На северо-запад через необжитые маленькие заливы Мотс Бейзин и Хэссок простиралась территория, на которой позже будет расположен аэропорт Айдлуайлд, а еще позже — международный аэропорт имени Джона Кеннеди. Пешком или на велосипедах дети из Фар-Рокуэй постоянно курсировали между увитыми плющом домами, по полям и свободным просторным участкам земли. В то время никто специально не старался соблюдать условия, при которых ребенок вырастает здоровым и независимым, но они присутствовали.

Город рос, вереницы домов и оград складывались в непрерывную цепь. Передвигаться по городу все чаще приходилось вдоль улиц. Девчонки и мальчишки Фар-Рокуэй просачивались между домами, прокладывая собственные маршруты через задние дворы и пустоши. Дети были свободны, а в играх, скрытых от взгляда родителей, очень изобретательны. Они гоняли на велосипедах где только душе угодно, колесили по полям, приезжали к берегу, брали напрокат лодки и плавали вдоль заливов. По дороге в библиотеку Ричард любил сидеть на каменных ступеньках и наблюдать за проходящими мимо людьми. И хотя казалось, что Нью-Йорк далеко, Ритти всегда чувствовал, что он связан с ним, а на соседей, что жили в Сидархерсте, на Лонг-Айленде, посматривал свысока. Но он также чувствовал, что и его родной городок обособлен.

«В детстве мне казалось, что мы живем на краю света», — вспоминал другой уроженец Нью-Йорка, литературный критик Альфред Казин. Он вырос в Браунсвилле, в Бруклине, более бедном и таком же удаленном еврейском квартале, где дети иммигрантов осваивали и заполняли это своеобразное

промежуточное пространство между городом и сельской местностью. «Тогда там была сплошная незастроенная пустошь с гранитными мастерскими, где изготавливали надгробные плиты. На нашей улице располагалась ферма, к которой вела старая, мощенная булыжником дорога, — писал он, — по большей части это была заброшенная местность, ни город, ни деревня… Через нее пролегала дорога, по которой вечерами мы пробирались к океану по тихим улочкам меж старых заброшенных домов, чьи закопченные викторианские фасады давно заросли травой и выглядели, словно на них запеклась кровь, смешанная с сажей».

Пляж был любимым местом Ритти Фейнмана. Длинная коса с широкими тротуарами, отелями, летними домиками и тысячами кабинок для переодевания простиралась почти непрерывно до самого востока Лонг-Айленда. Фар-Рокуэй считался летним курортом со множеством клубов, таких как Arnold, Ostend Baths или Roche's[27], который, как долгое время думал Ричард, назвали в честь насекомого. Это было место выставочных павильонов и сезонного жилья со сверкающими замочками и ключами. Местные дети играли на пляже круглый год. Они плескались в слабом прибое, который приходил к берегу уже смягченный волнорезом. В разгар сезона розовые и зеленые точки фигур в купальниках облепляли пляж, словно остатки жевательной резинки. Ричард любил бывать здесь. Он проезжал на своем велосипеде от дома чуть больше километра (расстояние, которое в более поздних воспоминаниях увеличилось до трех километров). Он ездил один или с друзьями. Небо там казалось больше, чем в любом другом месте в городе. Океан будоражил детское воображение. Все эти волны, простор, лодки, тянущиеся призрачными лентами до горизонта в сторону бухты Нью-Йорка. Где-то там, далеко за ними, далеко за линией, отделяющей небо от воды, лежали Европа и Африка. Иногда казалось, что все хорошее сосредоточено здесь, рядом с водой.

Купол неба простирался ввысь. Впереди были километры, залитые солнцем или лунным светом. Ричард плескался в прибое и в разлетающихся брызгах улавливал границу между землей, морем и воздухом. По вечерам он брал свой фонарик. На пляже мальчишки и девчонки могли общаться друг с другом. Ритти старался изо всех сил соответствовать, но все равно часто чувствовал себя неловко. Он много плавал. Когда Фейнману было сорок три и он уже изложил почти все, что знал о физике, в своем историческом двухгодичном курсе, позже получившем название *Фейнмановские лекции по физике*, стоя перед первокурсниками, он попросил студентов представить себя на пляже. «Если мы стоим на берегу и смотрим в море, — говорил он, — мы видим воду,

видим, как волны разбиваются в пену, слышим плеск воды, чувствуем ветер, наблюдаем за облаками, солнцем и небом. Свет. Песок. Камни различной твердости и прочности. Цвет. Поверхности. Животные и водоросли. Голод, болезни. И просто наблюдатель на пляже. В этом и счастье, и раздумья». Природа там была простой, можно даже было бы употребить слово «элементарной». Но именно элементарность никогда не означала для Фейнмана простоту и незначительность. Вопросы, которые он поднимал в области физики, были фундаментальными. И многие из них возникли именно на пляже. Песок отличается от камней? А может, песок — это не что иное, как бесчисленное множество мельчайших камней? Что собой представляет Луна? Может, Луна — огромный камень? Если мы поймем, что такое камень, поймем ли мы одновременно и что такое песок, и Луна? Можно ли считать, что ветер — это скольжение воздуха, аналогичное скользящему перемещению воды в море?

Волна эмиграции из Европы в Америку заканчивалась. Воспоминания первого поколения евреев из России, Восточной Европы и Германии, а также ирландцев и итальянцев начинали меркнуть. Окраины Нью-Йорка, процветавшие до Второй мировой войны, постепенно приходили в упадок. В Фар-Рокуэй за шестьдесят девять лет жизни Фейнмана немногое изменилось. Когда он вернулся сюда уже со своими детьми, за несколько лет до смерти, все показалось ему каким-то усохшим и унылым. Уже не было тех просторов, что раньше. Но пляж остался прежним, с широким дощатым настилом. Та же школа, к которой он подсоединял провода, чтобы слушать радиопередачи. Дом теперь разделили, чтобы принять больше постояльцев, и он не казался таким огромным. Ричард так и не позвонил в дверь. Главная улица, Централ-авеню, выглядела обшарпанной и узкой. Населяли городок теперь преимущественно ортодоксальные евреи, и Фейнман был раздосадован таким большим количеством ермолок, встречавшихся повсюду. Он называл их «эти маленькие шапочки», что означало, что ему не было никакого дела до их истинного названия. И он преднамеренно не принимал культуру, которая пропитала воздух его детства так же, как дым города или соль океана.

Иудаизм в Фар-Рокуэй стал более либеральным. Настолько, что смог обратить в веру даже таких атеистов, как отец Ричарда — Мелвилл Фейнман. Это был в основном реформистский иудаизм, без абсолютизма и фундаментальных традиций. Многие строгости отвергли ради мирного, гуманистического будущего детей. Новая форма религии подходила для новоприбывших американцев, которые возлагали надежды на то, что их дети

пробьют себе дорогу в Новый Мир. Встречались семьи, где не соблюдали священную субботу, или такие — Фейнманы относились к их числу, — где идиш воспринимался как иностранный язык. Фейнманы принадлежали к пастве местного храма. Ричард некоторое время посещал воскресную школу и был членом молодежной группы, которая собиралась после уроков. На основе религии частично сформировались и моральные принципы жителей городка. Из семей вроде той, что была у Фейнмана, проживавших в окрестностях Нью-Йорка в первой половине XX века, вышло много талантливых мужчин и женщин, добившихся успеха во многих областях, но особенно они отличились в науке. На этом участке планеты площадью всего в пару сотен квадратных километров выросло, по сравнению с остальным миром, непропорционально много нобелевских лауреатов. В семьях, в том числе еврейских, культивировали и поощряли образование и знания. Иммигранты работали и жили ради того, чтобы обеспечить лучшее будущее своим детям. Те, в свою очередь, отлично знали, что пришлось пережить их родителям. Здесь считали, что наука как профессия — дело достойное. По правде говоря, лучшие колледжи и университеты постоянно повышали вступительные требования к абитуриентам-евреям, ограничивая число принятых евреев, и на научных факультетах учились в основном протестанты. Так было до окончания Второй мировой. В науке действовали законы математики, а не скрытые правила личных предпочтений и классовости.

Центру Фар-Рокуэй позавидовал бы даже Сидархерст. Когда мать Ричарда Люсиль шла по Централ-авеню, разглядывая магазины Небенцаля и Старка, ей нравилось все, что ее окружало. Она лично знала учителей своих детей, помогала красить школьную столовую и вместе с соседями коллекционировала посуду, продаваемую в качестве рекламы местным кинотеатром. Городок изнутри был таким же славным, как и местечко[28], о котором еще помнили некоторые старожилы. Чувствовалось какое-то постоянство в поведении жителей и устоях. Быть честным, держаться своих принципов, учиться, откладывать деньги на черный день — эти правила не столько запоминали, сколько впитывали с молоком матери. Все здесь трудились. Не было и намека на бедность. Уж точно не в семье Фейнманов. Хотя позже Ричард понял, что они делили дом с другой семьей, потому что никто из них не мог себе позволить содержать собственный. Не замечали бедности и в семье близкого друга Леонарда Мотнера, даже после того, как скончался их отец и старшему брату, чтобы прокормить семью, пришлось ходить по домам и продавать масло и яйца. «Таков был мир, — говорил Фейнман

позже. — Но теперь я понимаю, что каждый боролся изо всех сил. Всем было трудно, но люди не подавали виду». Дети в таких местах вырастают в уникальной атмосфере, сочетающей в себе свободу и строгие моральные принципы. Воспитанность была для Фейнмана естественной, словно ему предоставили право быть самим собой, то есть искренним и честным.

Рождение и смерть

Мелвилл Фейнман (он произносил свою фамилию более традиционно: Файнман или Фаинман) родился в Минске. Его родители Луис и Энни эмигрировали из Белоруссии в 1895 году, так что с пяти лет Мелвилл рос в Патчоге на Лонг-Айленде. Он увлекался наукой, но, как и другие евреи-иммигранты, не имел возможности ею заниматься. Он изучал выходящую за рамки общепринятого новую область медицины — гомеопатию. Потом втянулся в бизнес по продаже полицейского обмундирования и формы для разносчиков почты. Позже стал продавать полироль для автомобилей «Уиз». Одно время гараж Фейнмана был просто забит этим средством, а сам он даже пытался открыть сеть автомоек, но в итоге снова стал вести бизнес по продаже формы с компанией Wender & Goldstein. И на каждом месте ему приходилось бороться.

Его жена выросла в более благоприятных условиях. Люсиль была дочерью успешного галантерейщика, которого ребенком вывезли из Польши и определили в сиротский приют в Англии, где ему дали имя Генри Филлипс. Оттуда отец Люсиль попал в Соединенные Штаты и получил первую работу — продавал иголки и нитки, которые носил в рюкзаке за спиной. Он познакомился с Джоанной Хелински, дочерью немецко-польских иммигрантов, когда та чинила его часы в лавке в Нижнем Ист-Сайде. Генри с Джоанной не только связали себя узами брака, но и начали вести совместный бизнес. У них возникла идея, как рационализировать процесс обрезки при изготовлении утонченных женских шляпок, вошедших в моду до Первой мировой, и их шляпный бизнес процветал. Они открыли галантерейную лавку и перебрались в квартиру в Верхнем Ист-Сайде на 92-й улице недалеко от Парк-авеню. Здесь в 1895 году и родилась Люсиль, первая из пяти детей.

Как и большинство детей из обеспеченных еврейских семей, Люсиль посещала культурно-религиозную школу. Ту самую, моральный дух которой впитает в себя вскоре и Роберт Оппенгеймер, который был младше Люсиль на девять лет. Она хотела стать воспитателем в детском саду, но вскоре после выпускного, будучи еще подростком, встретила Мелвилла. Знакомство состоялось благодаря ее подруге, с которой Мелвилл должен был идти на свидание. Та пригласила Люсиль, чтобы составить компанию приятелю Мелвилла. Они поехали кататься, и Люсиль с другом Мелвилла расположились на заднем сиденье. На обратном пути она уже сидела рядом с Мелвиллом.

Через несколько дней он сказал ей: «Не выходи ни за кого другого». Эти слова нельзя было расценивать как предложение, и отец Люсиль не разрешал ей выходить замуж за Мелвилла еще три года, пока ей не исполнился двадцать один год. Они переехали в недорогую квартиру в Верхнем Манхэттене в 1917 году. И уже на следующий год в местной больнице родился Ричард.

Позднее семейная легенда гласила, что Мелвилл заранее объявил: если родится мальчик, он станет ученым. Люсиль неопределенно кивнула: не стоит делить шкуру неубитого медведя. Но отец Ричарда взял все в свои руки. Еще до того как малыш научился ходить, он принес домой россыпь синих и белых паркетных досок и стал раскладывать их, чередуя синий-белый-синий-белый или синий-белый-белый-синий-белый-белый. Таким способом он пытался объяснить ребенку скрытую сторону математики — периодичность. Пошел Ричард рано, а заговорил только после двух. Его мать сильно переживала, но, как это часто бывает с поздно заговорившими детьми, внезапно Ритти стал невероятно болтливым. Мелвилл принес домой «Британскую энциклопедию»[29], и Ричард буквально проглотил ее. Отец водил сына в Американский музей естественной истории, где стояли чучела животных в стеклянных коробах и знаменитый громадный скелет динозавра. Отец описывал его, словно преподавал урок, переводя все измерения в понятные ребенку единицы: «Семь с половиной метров в высоту, а череп почти два метра в обхвате, — объяснял он. — Если бы этот динозавр стоял у нас на заднем дворе, то смог бы наверняка заглянуть в окно второго этажа. Но не просунул бы голову, потому что она слишком велика и сломала бы раму». Достаточно яркое объяснение, которое мог понять любой мальчишка.

Мелвилл щедро делился с членами своей семьи знаниями и серьезно относился к жизни. Люсиль же обладала чувством юмора и умела рассказывать истории. Во всяком случае, именно так гласят семейные легенды. Мелвилл любил посмеяться над рассказами жены и детей, придуманными ими за обедом или потом, вечером, когда они все вместе собирались за чтением. У него был удивительный, хихикающий смех, который унаследовал его сын. Чувство юмора было особым даром Люсиль. Оно помогало ей не впадать в уныние и переживать несчастья, которые обрушились на ее близких. Ее дед и бабушка оказались в польском гетто, мать страдала эпилепсией, а сестра — шизофренией. Все ее братья и сестра умерли в раннем возрасте. Осталась лишь одна Перл.

Преждевременная смерть не обошла стороной и ее новый

дом. Зимой, когда Ричарду было пять, Люсиль родила второго сына. Его назвали Генри Филлипс Фейнман в честь ее отца, умершего за год до этого. Через четыре недели после рождения у малыша поднялась температура, стали кровоточить ногти, и через несколько дней мальчик умер, предположительно, от воспаления оболочек спинного мозга. Горе, столь стремительный поворот от счастья к отчаянию и, конечно, страх самого Ричарда омрачили его жизнь на долгое время. Ритти так ждал появления брата, а получил жестокий урок, увидев, сколь хрупка человеческая жизнь и насколько человек не в состоянии контролировать природу. Позднее он почти никогда не говорил об этом тяжелом событии, печальное воспоминание о котором преследовало их много месяцев. До девяти лет у него не было ни братьев, ни сестер, пока наконец не родилась Джоан. Тень Генри все еще нависала над семьей. Ричард и даже Джоан знали, что мать хранит свидетельство о рождении и шапочку, которую носил мальчик, чьи останки теперь покоились под плитой семейного склепа в восьми километрах от дома. На надгробном камне было написано: «Генри Филлипс Фейнман. 24 января 1924 — 25 февраля 1924».

Фейнманы переезжали несколько раз. Они покинули Манхэттен и перебрались в район на окраине города, сначала в Фар-Рокуэй, потом в Болдуин на Лонг-Айленде, а когда Ричарду было около десяти — в Сидерхерст. Затем они вновь вернулись в Фар-Рокуэй и поселились в двухэтажном доме песочного цвета на Нью-Бродвей, 14, к которому примыкал небольшой участок земли. Этот дом принадлежал отцу Люсиль. Здесь были передний и задний дворы и две подъездные дорожки. Фейнманы делили дом с семьей Перл, сестры Люсиль. Она жила с мужем Ральфом Левайном, сыном Робертом, который был чуть старше Ричарда, и дочкой Фрэнсис, немного младше его. Крыльцо ограждали полукруглые белые перила. На первом этаже были две гостиные. Одна — для игр, другая, с газовым камином, который разжигали в холодные дни, — для общего пользования. Спальни были маленькие, но зато их было восемь. Комната Ричарда на втором этаже выходила окнами на задний двор, где росли фортеция и персиковое дерево. Иногда, возвращаясь вечером домой, родители обнаруживали, что его двоюродная сестра Фрэнсис не спит и дрожит от ужаса, потому что Ричард, оставленный присматривать за ней, рассказывал девочке истории о призраках, придумывать которые его вдохновляли готические лестницы.

В те годы перед Великой депрессией в доме жила еще пара иммигрантов из Германии. Людвиг и Мари, незадолго до этого переехавшие в Америку, подрабатывали у Фейнманов, чтобы

сводить концы с концами. Мари готовила, Людвиг же иронично говорил, что был садовником, шофером и дворецким, подававшим еду в белом фартуке. Они придумали серьезную и полезную игру. С подачи Людвига северное окно гаража превратилось в Северный Банк Фенстера. Все по очереди были консультантами и клиентами. Таким способом Людвиг с Мари осваивали английский, а дети изучали садоводство и правила поведения за столом. Но если Ричард и получил подобные знания, он благополучно забыл о них в дальнейшем.

Для самой младшей из детей Джоан все в доме шло своим чередом. Однако однажды ночью, когда девочке было три или четыре, брат разбудил ее, нарушив спокойный сон. Он сказал, что ему разрешили показать ей что-то невероятное и прекрасное. Держась за руки, они пошли на маленькое поле для гольфа, которое находилось в стороне от освещенных улиц. «Смотри!» — сказал Ричард. Там, высоко над ними, подрагивало красно-зелеными занавесками северное сияние. Одно из чудес природы. Где-то в верхних слоях атмосферы солнечные частицы, сфокусированные магнитосферой Земли, оставляли мерцающие следы под действием ионизирующего излучения. Это было явление, которое уличное освещение большого города вскоре вытеснит навсегда.

Это того стоит

Увлечения математикой и радиоделом развивались отдельно. Хранящиеся дома запасы для проведения научных экспериментов пополнялись реактивами из наборов для химических опытов, линзами от телескопов и оборудованием для проявки фотопленки. Ритти подсоединил свою лабораторию к электропроводке всего дома, чтобы иметь возможность в любом месте, подключив наушники, вести импровизированные передачи через портативный громкоговоритель. Как-то его отец заявил, что слышал, будто электрохимия стала новой и важной областью науки, но Ритти тщетно пытался понять, что такое эта электрохимия. Он совал провода под напряжением в химические реактивы. Он смастерил мотор, который раскачивал кроватку его сестры. Однажды, вернувшись домой поздно вечером, родители открыли входную дверь и услышали пронзительный звук. «Работает!» — закричал Ритти. Теперь у них была домашняя сигнализация. Когда кто-то из приятелей его матери по игре в бридж спрашивал, как она выносит весь этот шум, химический запах и не такие уж незаметные пятна на полотенцах, она спокойно отвечала: «Это того стоит». В еврейских семьях среднего класса Нью-Йорка ничто не могло затмить ценности детских амбиций.

Фейнманы воспитывали своих детей в соответствии с негласными законами, которым следовало большинство соседей. Эти правила редко произносились, но составляли основу жизни. Детям предстояло войти в мир тягот и опасностей, и каждый родитель делал все от него зависящее, чтобы они, как однажды выразился Мелвилл, «были способны принять вызовы судьбы и выстоять в непростой конкурентной борьбе за достойное существование». Ребенку предстоит найти свое место в жизни. Мотивы родителей эгоистичны, ведь ничто так не возвышает в глазах соседей, как успехи детей. «Когда ребенку удается чего-то достичь, — писал Мелвилл, — родительские сердца наполняются гордостью, отцы и матери всем своим видом говорят соседям (на самом деле не произнося ни слова): “Посмотрите на него! Ну как же он хорош! А что вы можете противопоставить тому, что есть у меня?” И соседи ласкают самолюбие родителей, восхищаясь их ребенком и *его* успехами…» Жизнь в мире бизнеса и коммерции скучна и изнурительна, так что лучше обратиться к профессии, связанной со знаниями или культурой. Благодаря жертвам, на которые пришлось пойти родителям, у детей не было долгов. Разве что только долг перед собственными детьми, который они

выплатят в свое время.

Повзрослев, Ричард Фейнман стал искусным рассказчиком. В его рассказах о себе ярко проступал образ отца — человека, передавшего сыну по наследству все свои знания о науке. Уроки эти были и наивны, и мудры. Мелвилл Фейнман высоко ценил любознательность и не одобрял поверхностность. Он учил Ричарда не доверять жаргону и внешней форме, ведь это была всего лишь форма. А уж о форме он знал много чего, ведь продавал ее и часто видел лишенной всякого содержания. Сам папа римский был всего лишь человеком, облаченным в соответствующую одежду. Когда Мелвилл отправлялся на прогулку с сыном, он мог просто поднять с земли камень и пуститься в рассказы о муравьях и червях, о звездах и волнах. Для него первостепенными были действия, а не факты. Однако желание объяснять подобные вещи порой обнажало его истинные знания, и уже гораздо позже Ричард понял, что его отец, должно быть, иногда что-то придумывал. Но польза этих уроков заключалась в самом взгляде на науку. Фейнман вспоминал об этом в двух своих любимых историях об отце.

Одна из них связана с птицами. Часто по выходным отцы с сыновьями гуляли в Катскилл Маунтинс. Во время одной из таких прогулок какой-то мальчик спросил Ритти:

— Видишь вон ту птицу? Знаешь, как называется?

— Не имею ни малейшего представления, — ответил Ричард.

— Это рыжезобый дрозд, — сказал мальчик. — Ничему-то твой отец тебя не учит!

Но на самом деле все было наоборот. Мелвилл учил сына. Только иначе. Он объяснял: «Видишь ту птицу? Это парусная камышовка, — Ричард знал, что он придумал название, а отец продолжал: — На итальянском звучит как *кутто лапиттида*. На португальском — *бон да пеида*. На китайском — *чунг-лонг-таг*, а на японском — *катано текеда*. Ты можешь выучить название этой птицы на всех языках мира и в итоге совершенно ничего не будешь знать о самой птице. Все твои знания будут только о том, как люди в разных странах ее называют. Так что давай посмотрим на птицу и на то, что она *делает,* — вот что действительно важно».

Вторая история также была поучительной и тоже показывала различия между названием предмета и самим предметом. Ричард как-то спросил отца, почему, когда он толкает свою красную тележку вперед, лежащий в ней мяч катится в обратном направлении. «Этого никто не знает, — ответил Мелвилл. — Общий принцип заключается в том, что движущиеся предметы стремятся продолжать двигаться дальше, а те, что стоят на месте,

так и останутся там, если их хорошенько не подтолкнуть. Это называется инерция, но никто не знает, почему так происходит». Мудрый ответ, учитывая знания, которые имел Мелвилл: немногие ученые и педагоги признают, что даже ньютоновское определение силы и инерции не отвечает на все «почему». Такого не должно быть во вселенной. Довольно трудно растолковать ребенку, что мяч на самом деле немного перемещается вперед относительно земли, и в то же время ощутимо передвигается назад относительно тележки. Показать роль трения, когда на мяч воздействуют определенные силы. Непросто объяснить, что *каждое тело остается в состоянии покоя или продолжает двигаться прямолинейно и равномерно до того момента, пока на него не окажут воздействия приложенные к телу силы (если их действие было скомпенсировано)*.

Как трудно растолковать все это, не давая одновременно тонкий урок о природе явления! Законы Ньютона действительно объясняют, почему мячи катятся в направлении, противоположном направлению движения тележки, бейсбольные мячи меняют траекторию полета в зависимости от ветра и даже почему кристаллы улавливают радиоволны. Позднее Фейнман сам убедится в ограниченности подобных определений. Он просто страдал из-за того, насколько сложно объяснить, почему магнит притягивает железо или каким образом земля воздействует силой, называемой гравитацией, на летящий снаряд. Ричард, развивший в себе агностицизм по отношению к таким понятиям, как инерция, в голове у себя мысленно выстраивал собственную физику, ту, которая только зарождалась в Европе в то время, когда отец и сын говорили о тележке. Квантовая механика поставила перед наукой новые вопросы, и Фейнман часто задавал их в различных формах. *Не спрашивайте, как такое возможно. Потому что этого никто не знает*.

Даже в юности, впитывая эту мудрость, Фейнман порой замечал, что научные знания его отца были ограничены. Как-то перед сном он спросил его, что такое алгебра.

— Это способ решать задачи, которые ты не можешь решить с помощью арифметики, — ответил отец.

— Какие, например?

— Например, такие: за дом и за гараж ты платишь аренду 15 тысяч долларов. Сколько из них ты платишь за гараж?

Ричард чувствовал подвох. Когда он перешел в старшие классы, тривиальность вводного курса алгебры его разочаровала. Он зашел в комнату к сестре и спросил: «Джоанни, если два в степени икс равняется четырем, ты можешь вычислить икс?» Конечно, она смогла, и Ричард был возмущен тем, что в старших

классах ему приходилось учить такие очевидные вещи. В тот же год он с легкостью научился определять икс, если два в степени икс равнялось тридцати двум. В школе его быстро перевели на следующий курс алгебры, который вела мисс Мур, полная женщина с тонким чувством дисциплины. Ее класс решал задачи, словно напевал песенки, а ученики непрерывным потоком направлялись к доске и обратно. Фейнману было немного не по себе среди более старших учеников, но он уже дал понять друзьям, что, по его мнению, он умнее. Тем не менее его показатель IQ в школе был весьма впечатляющим — 125.

Школьные годы

Государственные школы Нью-Йорка того времени позднее заработали хорошую репутацию во многом благодаря ностальгическим воспоминаниям знаменитых светил науки. Фейнман же считал старшую школу № 39, в которой он учился, бесплодной пустошью, «интеллектуальной пустыней». Поначалу он больше знаний получал дома, часто из энциклопедий. Он сам разобрался в элементарной алгебре и однажды составил уравнение с четырьмя неизвестными. Показал его преподавателю арифметики вместе с последовательным решением. Та была впечатлена, но озадачена. Ей пришлось отнести уравнение директору, чтобы убедиться, что решение верное. В школе был только один курс естествознания, для мальчиков, и преподавал его грозный коренастый мужчина, которого звали Майор Коннолли, очевидно, по его званию во время Первой мировой. Все, что Фейнман запомнил из этого курса, — количество дюймов в метре (39,37). А еще бесполезный спор с учителем о том, как расходятся лучи света от источника: радиально (что казалось Ричарду логичным) или параллельно, как обычно рисуют в учебниках на схемах прохождения света через линзы. Даже когда он учился еще в начальной школе, он никогда не сомневался в своей правоте, если дело касалось подобных вещей. Для него это были очевидные физически достоверные факты, а не предположения, которые может выдвинуть авторитетный учитель. Дома тем временем он кипятил воду, подавая напряжение в 100 В, и наблюдал, как вспыхивали и гасли синие и желтые искры, когда вырубалось электричество. Его отец иногда описывал красоту потока энергии, пронизывающего наш повседневный мир, — от энергии солнечного света, направленной ко всему живому, до механической энергии, скрытой в заводных игрушках. Как-то в школе задали сочинить стихотворение, и Ричард применил эти знания в причудливом пасторальном сюжете, где фермер вспахивает поле, чтобы получить пропитание, траву и сено:

…Энергия важна
И для каждой работы нужна.
Энергия, да, так велика,
Что не может скрыться никто.
Фермер погиб бы наверняка,
Не будь у него силы такой.
Но ведь грустно думать, что сила его

Всего лишь в лошадке одной.

Потом он написал еще одно стихотворение, в котором осознанно рассуждал о своем увлечении наукой и о концепции науки. Между заимствованными апокалиптическими образами Ричард выразил мнение, что наука ставит под сомнение существование Бога. По крайней мере, того догматического Бога, о котором говорили в школе и с которым у рационального гуманистического Бога семьи Фейнманов было мало общего. «Наука являет нам чудо», — написал он, но потом, подумав, зачеркнул слово «чудо».

Наука являет нам чудо путь,
Идти по нему далеко,
И знай, что в дороге такой
Не прятать глаза нелегко.
Когда-то проснутся вулканы,
Долины зальет огнем,
Человек завязнет в пучине
Иль пронесется конем.
Земля родилась из Солнца,
А мы — эволюции дети.
Росли из существ мы безликих,
А может, из обезьян на планете.
Мы в мыслях научных томимся,
Науку повсюду видим,
Мы все говорим о науке,
И все мы науки боимся.
Мы отдаляемся от Творца,
Все дальше звучит его глас,
Но уже ничего не поделать,
Все решено за нас.

Но стихи — для неженок, считал Ричард. И это были не пустые слова. Он невыносимо страдал из-за стереотипов мальчишеского поведения, из-за страха оказаться или показаться кому-то слабаком. Он не считал себя смелым или красавцем. В бейсбол его не взяли. Один вид мяча, катящегося в его сторону, приводил Ричарда в ужас. Занятия по фортепиано нагоняли на него тоску, но не только оттого, что играл он весьма посредственно, а еще и потому, что ему бесконечно приходилось упражняться и наигрывать «Танец маргариток». Порой это граничило с безумием. И ему становилось по-настоящему

тревожно, когда мама отправляла его в магазин за мятными пирожными.

Естественно, он был крайне застенчив с девочками, боялся вступать в драку с более сильными мальчишками. Пытался даже снискать их расположение, решая для них школьные задачки и показывая, как много он знает. Но ему приходилось выносить классические издевательства. Например, беспомощно наблюдать, как соседские дети топчут на дорожке перед домом его первый набор для химических опытов, превращая в бесполезный хлам. Он старался быть хорошим мальчиком, а затем волновался, как и все хорошие мальчики, что может прослыть паинькой. Он вряд ли смог бы из интеллектуала превратиться в атлета, но Ритти казалось, что ему удавалось скрывать свою мягкость за практическими умозаключениями. Практичный человек — именно так он сам себя называл. В школе Фар-Рокуэй он прочел несколько учебников с этим магическим сочетанием слов в заголовке: «Арифметика для практичного человека» (Arithmetic for the Practical Man), «Алгебра для практичного человека» (Algebra for the Practical Man). Ему не хотелось снискать репутацию деликатного, а литература, рисование, музыка — все это было, безусловно, чересчур утонченно. Вот плотницкая работа или техника — это для настоящих мужчин.

Для учеников старших классов, стремление к первенству у которых не могло реализоваться на бейсбольном поле, в Нью-Йорке существовала межшкольная Лига алгебры. Проще говоря, клуб, объединяющий математические команды из разных школ. В Клубе физиков Фейнман с друзьями изучали волновое движение света и феномен образования вихревых колец дыма. Они воспроизвели ставший уже классическим эксперимент калифорнийского ученого Роберта Милликана, измерив заряд электрона с помощью капель жидкого масла. Но ничто так не будоражило Ричарда, как соревнования по математике. В классе собирались команды, каждая из которых состояла из пяти человек. Две команды боролись за победу, сидя в ряд, а учитель задавал им вопросы. Все задачи были составлены очень хитроумно. Для поиска ответов на них даже не всегда нужно было применять стандартные алгебраические расчеты, ведь способы решения, которые традиционно преподавались в школах, требовали слишком много времени. В этих же задачах всегда был какой-то подвох, не разгадав который на решение пришлось бы потратить уйму времени. Иногда ученикам самим предлагалось найти новый способ решения.

Школьные преподаватели в большинстве случаев считали, что использование надлежащих методов важнее получения

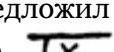
правильного ответа. Здесь же только правильные ответы имели значение. Можно было исписать всю доску непонятными действиями, а потом обвести ответ. Нужно было проявлять гибкость, выискивая различные варианты. Идти напролом было не так эффективно. Эти состязания стали для Фейнмана настоящей отдушиной. Кто-то был президентом и вице-президентом школы, Ритти же был капитаном команды, и его команда всегда выигрывала. Второй участник сидел прямо за Фейнманом, быстрее остальных производя вычисления карандашом, и боковым зрением он видел, что Ричард ничего не писал — до тех пор, пока ответ просто не приходил ему в голову. Вы плывете в лодке против течения. Скорость течения реки 5 км/час, ваша скорость движения против течения — 7 км/час. Вы роняете шляпу в воду и обнаруживаете, что потеряли ее, только 45 мин спустя. Вы моментально разворачиваетесь. Сколько времени вам придется грести, чтобы добраться до шляпы?

Простейшая задача, решить которую, прибегая к стандартным алгебраическим методам, можно за несколько минут. Но тот, чья голова заполняется цифрами (пять, семь), которые складываются и вычитаются, уже проиграл. Это задача на систему координат. На самом деле совершенно не важно, с какой скоростью течет река. Так же, как неважно и движение Земли вокруг Солнца, или движение Солнца через Галактику. Все скорости — это просто мишура. Не обращай на них внимания. Сконцентрируйся на плывущей шляпе. Стань этой шляпой. По отношению к тебе вода неподвижна, берега — размыты. Теперь понаблюдай за лодкой, и тогда ты поймешь, как это понял и Фейнман, что она вернется за те же 45 мин. К лучшим участникам состязаний ответ приходил как озарение где-то за пределами сознания. В такие моменты человек не напрягается, чтобы получить его, а, скорее, просто расслабляется, чтобы увидеть. Довольно часто ответ приходил Фейнману еще во время чтения условия задачи, и соперники, прежде чем приступить к решению, видели, как он пишет цифру и обводит ее кружком. Потом следовал громкий выдох. В старших классах на ежегодном общешкольном чемпионате, проходившем в Нью-Йоркском университете, Фейнман занял первое место.

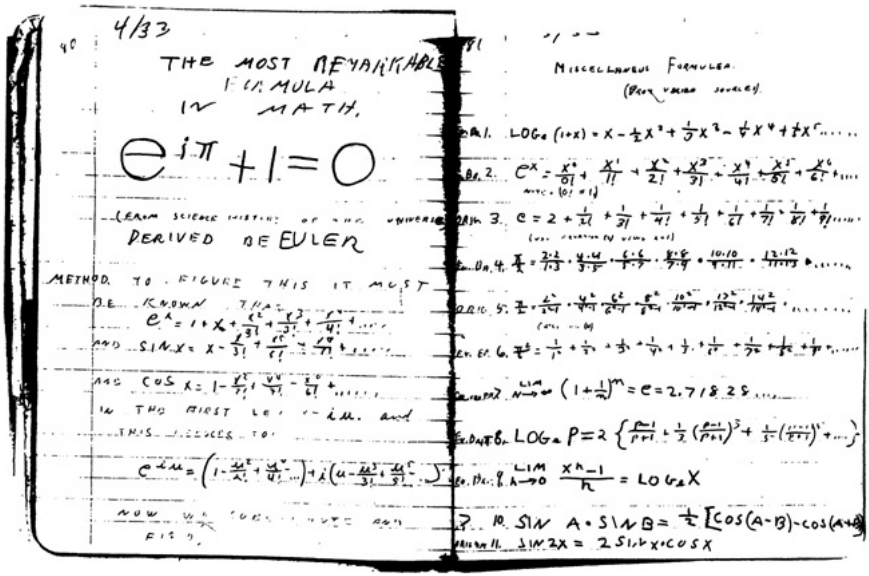
Большинство людей считает математику просто собранием сухих фактов и заученных алгоритмов проведения расчетов, стоящих за разными названиями: арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия. И лишь некоторым удавалось найти путь в более свободный и яркий мир, который позже назвали «занимательной» математикой. Мир, в котором нужно было переправлять в одной лодке на другой берег лису и кроликов; где представители одного племени все время врали, а представители

другого — говорили лишь правду; где нужно было определить, какие золотые монеты настоящие, а какие — фальшивые, взвесив их всего трижды; где малярам приходилось протискивать трехметровые стремянки в неудобные проемы. Некоторые задачи никогда не исчезнут из учебников. Как разлить поровну семь литров вина, используя только пяти- и трехлитровые емкости. Как обезьяне взобраться по лиане, другой конец которой привязан к грузу (замаскированная физическая задачка). Простые числа и числа в квадрате. Парадоксы и игры с теорией относительности. Подбрасывание монетки и раздача карт до помутнения рассудка. Бесконечности множились, и бесконечность счетных чисел оказывалась гораздо меньше, чем точек на линии.

Мальчик погружался в геометрию как Эвклид, вооружившись циркулем и угольником, чертил треугольники и пятиугольники, вписывал в окружности многогранники, складывал из бумаги платоновы тела[30]. Фейнман тогда мечтал о славе. Со своим другом Леонардом Мотнером они подумали, что нашли способ разделить угол на три равные части, используя только инструменты Эвклида, — классическая нерешаемая задача. На самом деле они просто неправильно поняли ее условие и разделили на три равные части одну из сторон равностороннего треугольника, ошибочно предположив, что линии, соединяющие эти сегменты с противоположным углом, образуют равные углы. Колеся по округе на велосипедах, Ритти и Лен воодушевленно представляли заголовки газет: «Двое учеников, только начавших изучать геометрию, решили вечную задачу трисекции угла».

Этот удивительный, многообразный мир был создан для игр, а не для работы. И тем не менее, в отличие от своего более старшего флегматичного школьного приятеля, Фейнман постоянно соприкасался с настоящей, «взрослой» математикой. Сначала едва осязаемая, у него появилась тяга к исследованиям, к решению задач, которые считаются нерешаемыми. Он предпочитал активное непосредственное изучение нового пассивному получению мудрости мертвой эпохи. В школе у каждой задачи было решение. В занимательной математике можно было быстро понять условие и найти ответ. Во время математических игр над ними не нависали никакие авторитеты. Обнаружив некоторую нелогичность в системе обозначения тригонометрических функций, Фейнман предложил собственную: для синуса, для косинуса (x),  для тангенса (x). Он не чувствовал себя стесненным правилами, но в то же время оставался невероятно методичным. Он запоминал таблицы логарифмов и вычислял значения функций в уме. Его записные книжки заполнялись формулами, а также бесконечными рядами,

суммы которых равнялись π и e.



Страница из подросткового дневника Фейнмана

За месяц до своего пятнадцатилетия Ричард написал огромными буквами на всю страницу:

> Самая невероятная
> Формула
> В математике
> $e^{i\pi} + 1 = 0$[31]
> Из «Истории науки о Вселенной» (Science History Of The Universe)

К концу того года Ричард освоил тригонометрию и дифференциальное и интегральное исчисление. Преподаватели могли понять, в каком направлении он двигается. Через три дня занятий геометрией преподаватель мистер Огсбери сдался. Он сел на стул, положил ноги на стол и попросил Фейнмана провести урок. Теперь Ричард самостоятельно изучал конические сечения и комплексные числа — тот раздел алгебры, где решение уравнений приобретает «геометрический оттенок», а при решении задач приходится соотносить символы и положение кривых в плоскости или пространстве. И всегда для него была важна практическая сторона знаний. В его блокноте были записаны не просто формулы и законы, но и развернутые таблицы тригонометрических функций и интегралов — не переписанные, а самостоятельно выведенные, часто совершенно новым способом,

который служил определенной цели. Своему блокноту он дал название учебника, по которому с таким рвением занимался, — «Вычисления практичного человека». Когда одноклассники придумывали прозвища для ежегодного фотоальбома, Фейнмана назвали не «обладателем успешного будущего» или «самым умным», чего бы он, безусловно, хотел. Его прозвищем стало «чокнутый гений».

Все тела состоят из атомов

Первое квантовое понятие — предположение о том, что все вокруг состоит из неделимых структурных частиц — пришло в голову человеку около двух с половиной тысяч лет назад[32]. На основе такого представления и начала медленно зарождаться физика, потому что иначе вообще нельзя было что-либо понять о земле или воде, огне или воздухе. Поначалу идея казалась весьма сомнительной. Ничего во внешнем виде земли, мрамора, листьев, воды, плоти или костей не подтверждало эту теорию. Но некоторые греческие философы в V веке до н. э. страстно жаждали найти ей подтверждение. Все изменяется — разрушается, исчезает, увядает, чахнет или растет, — но все же остается неизменным. А само понятие неизменности предполагает существование неделимых частиц, движение и рекомбинация которых способны приводить к изменению внешнего вида вещей. Размышления об этом привели к тому, что отношение к основным элементам материи как к неизменным и неделимым перестало казаться таким уж странным: *атом* — (от греч.) «неделимый». Но единообразны ли атомы? Это был спорный вопрос. Платон представлял атомы как строгие объемные геометрические блоки: кубы, октаэдры, тетраэдры и икосаэдры, из которых состоят основные элементы: земля, воздух, огонь и вода, — то есть строительными блоками стихий были платоновы тела. Остальные же частицы представлялись маленькими крючками, соединяющими атомы. (Но тогда из чего могли бы состоять эти крючки?)

Экспериментирование не тот метод, которого придерживались греки, но некоторые наблюдения поддерживали теорию атомного строения вещества. Вода испаряется, пар оседает конденсатом. Животные способны по оставленным следам почувствовать запахи, которые разносит ветер. В кувшин, заполненный золой, можно еще налить воды, то есть суммарный объем воды и золы не совпадал, а это предполагало, что в веществе есть пусто*т*ы. Принцип подобного взаимодействия долгое время оставался непонятным. Как двигаются эти частицы? Как они соединяются между собой? «Непонятно, непонятно, из чего же сделан камень», — писал поэт Ричард Уилбер. Но даже в атомную эпоху все еще трудно было понять, как клубящиеся и собирающиеся в облака физические частицы могут породить предметы с четкими очертаниями, которые мы видим и трогаем каждый день.

Каждый, кто полагается на научные описания обычных вещей,

должен постоянно сверять то, что написано в учебниках, с тем, что существует на самом деле, должен сравнивать знания, которые получает, с теми реальными знаниями, которые у него уже есть. Еще в детстве нам говорят, что Земля круглая, что она вращается вокруг Солнца и вокруг собственной наклонной оси. Мы можем либо принять это на веру как хрупкое учение современной светской религии, либо собрать из кусочков общую картину мира, которую не так просто будет отрицать. Мы видим, как снижается траектория Солнца с приближением зимы. Мы можем определить время по тени, отбрасываемой фонарным столбом. Мы катаемся на карусели и отклоняемся в сторону, противоположную направлению силы Кориолиса. Мы пытаемся оправдать свое самочувствие знаниями о циклонах и погоде: Северное полушарие, низкое давление, движение против часовой стрелки. Мы можем рассчитать время, когда мачтовый корабль скроется за горизонтом. Солнце, ветра, волны — все вокруг не позволяет нам вернуться к представлениям о том, что Земля плоская, где мы могли бы наблюдать, как Луна вызывает приливы, и не понимать, почему так происходит.

Все тела состоят из атомов. Непросто соотнести этот факт с нашим повседневным опытом. Глядя на небольшие углубления, образовавшиеся на каменных ступеньках офисного здания, мы редко осознаём, сколько невидимых мельчайших частиц были стерты под воздействием десятков миллионов шагов. Мы не можем воспринять геометрически выверенную огранку драгоценного камня как нагромождение атомов друг на друга, словно пушечные ядра. Мы скорее предпочтем вообразить, что они образуют определенную кристаллическую структуру. Но даже если мы считаем, что и мы сами, и все, что нас окружает, состоит из атомов, «живучесть» камня остается для нас загадкой. Ричард Фейнман как-то спросил учителя, как предметам удается сохранять четкие формы, если атомы постоянно беспорядочно движутся. Он так и не получил удовлетворившего его ответа.

Когда Фейнман повзрослел, его заинтересовали другие вопросы. Если бы все научные данные были утеряны во время мирового катаклизма, то в каком одном утверждении можно было бы наиболее полно передать наше представление о мире? Ричард предложил следующее: «Все тела состоят из атомов — крошечных частиц, пребывающих в постоянном движении; эти частицы притягиваются друг к другу, когда они находятся на небольшом расстоянии, и отталкиваются друг от друга при сжатии тела». И затем он добавил: «*Из одного этого предложения можно бесконечно много узнать о мире, если поразмыслить и включить воображение*». И хотя со времен первых философов,

предложивших атомную модель строения вещества, прошли тысячелетия, Фейнман принадлежал к первому поколению ученых, по-настоящему и всецело верящих в эту теорию не как в некое убеждение, а как в неоспоримый факт. В 1922 году, произнося речь после получения Нобелевской премии, Нильс Бор посчитал своим долгом напомнить присутствующим, что ученые «рассматривают существование атомов как истину, не подвергающуюся сомнениям». Ричард же, тем не менее, вновь и вновь читал в «Британской энциклопедии», что «даже сегодня теоретическая химия не располагает достаточными доказательствами, подтверждающими эту теорию». Более убедительные доказательства предоставляла новая наука, физика. Явление, называемое радиоактивностью, казалось непосредственно связанным с реальным распадом вещества, поскольку можно было регистрировать звуковые сигналы или видимые вспышки. Однако вплоть до восьмидесятых никто не мог сказать, что видел атомы. Даже тогда это было всего лишь косвенное изображение, но, по крайней мере, оно позволило увидеть теневые пятна на фотографиях, полученных при помощи электронного микроскопа, или мерцающие точки оранжевого света в пересечении лазерных лучей «атомных ловушек».

В фундаментальности представления о том, что вещество имеет зернистую структуру, ученых XVII–XVIII веков убеждало изучение газов, а не твердых тел. После совершенной Ньютоном научной революции они активно начали производить измерения, искать значения постоянных величин и выводить математические формулы, полагая, что только философский подход к изучению природы без конкретных цифровых данных мало что даст. Исследователи получали и разлагали воду, аммиак, углекислый газ, карбонат калия и десятки других веществ. Когда они научились точно определять вес исходных составляющих и конечных продуктов, то обнаружили закономерности. Например, соотношение содержания водорода и кислорода, необходимого для получения воды, всегда поддерживалось на уровне два к одному. Англичанин Роберт Бойль обнаружил, что, хотя при определенной температуре в клапане можно менять давление и объем воздуха, масса его остается неизменной. И при постоянной температуре и массе газа произведение давления газа на его объем — величина постоянная. Результаты этих измерений вызывали множество «почему». При нагревании газа увеличивается или его объем, или давление. Почему?

Тепло, казалось, способно перетекать, как жидкость — «флогистон»[33] или теплород[34]. Но последователям-натурфилософам пришла в голову куда менее интуитивно

понятная идея о том, что тепло — это движение. Это было смелое заявление, так как никто не видел, чтобы предметы двигались. Ученым пришлось вообразить бесчисленное множество мельчайших невидимых частиц-корпускул, сталкивающихся друг с другом и оказывающих давление на лицо при малейшем дуновении ветра. Расчеты подтвердили эту догадку. Швейцарец Даниил Бернулли[35] развил закон Бойля, предположив, что давление газов возникает в результате столкновения с поверхностью именно таких шарообразных корпускул. А его заключение о том, что при нагревании происходит увеличение скорости беспорядочно движущихся частиц, связало понятия температуры и плотности. Корпускулярная теория получила новый виток развития, когда Антуан Лоран Лавуазье[36], очень тщательно и осторожно проводя опыты, продемонстрировал, что молекулы могут вступать в реакции, а могут образовываться в результате химических реакций, даже в тех случаях, когда газы взаимодействуют с твердыми телами, что и происходит, когда на поверхности железа образуется ржавчина.

«Материя неизменна и состоит из простейших частиц, неделимых при любых условиях, но соединенных между собой». Это значило, что атом сам по себе содержал целую вселенную, которая оставалась загадкой для будущих поколений. Математик XVIII века Руджер Бошкович, директор по оптике военно-морского министерства Франции, был своего рода провидцем в теории атома, и его взгляды эхом отразились в одном-единственном предложении Фейнмана. Представление Бошковича об атоме строилось не столько на том, из чего состоит вещество, сколько на том, что происходит с веществом при воздействии на него, и вызывало множество вопросов. Почему одни вещества способны упруго сжиматься, как каучук, а другие, как, например, воск, — нет. Почему твердые тела так и остаются твердыми, в то время как жидкости могут замерзать или испаряться? За счет чего происходят процессы кипения и брожения, когда частицы хаотично движутся с разной скоростью, сближаясь и сталкиваясь?

Стремление разобраться в природе частиц привело к необходимости изучить, какие невидимые силы притягивают и отталкивают их друг от друга, что определяет внешние свойства материи. Притягиваются друг к другу, когда они находятся на небольшом расстоянии, и отталкиваются друг от друга при сжатии — так описал это Фейнман. Такую картину уже вполне мог мысленно представить сообразительный старшеклассник в 1933 году. За два века представление о химических свойствах веществ значительно расширилось. Количество открытых элементов заметно увеличилось. Даже в школьной лаборатории

можно было пропускать ток через колбу с водой, чтобы выделить легковоспламеняющийся водород и кислород. Химия, упакованная в образовательные наборы для опытов, казалось, ограничивала себя до собрания строгих правил и рецептов. Но основные вопросы все так же волновали пытливые умы. Почему целое остается целым, если атомы постоянно двигаются? Какие силы отвечают за плавное движение воздуха и воды и какие взаимодействия атомов провоцируют возгорание?

Век прогресса

Попытки определить, какие силы действуют на атомы, вылились в десятилетие споров. Наука, называемая химической физикой, стремительно уступала место другим наукам, которые вскоре станут известны как ядерная физика и физика высоких энергий. Те, кто изучал химические свойства различных веществ, теперь пытались осознать первые поразительные результаты квантовой механики. Тем летом в Чикаго собралось на очередную встречу Американское физическое общество. Химик Лайнус Полинг говорил о роли квантовой механики в понимании природы сложных органических молекул, элементарных составляющих всего живого. Джон Слейтер, физик из Массачусетского технологического института, отчаянно пытался установить взаимосвязь квантово-механического представления об электроне с теми энергиями, которые могли бы оценить химики. Эта встреча плавно перетекла в выставочный комплекс Всемирной выставки 1933 года «Век прогресса», которая проходила в Чикаго. Сам Нильс Бор говорил на ней о том, какое беспокойство вызывает проблема измерения чего-либо в новой физике. В толпе посетителей, стоявших и сидевших вокруг него, утонченный датский акцент Бора часто заглушался детским плачем или шипением микрофонов. Он предложил вниманию собравшихся принцип, который назвал «комплементарностью», в котором ввел понятие о неизбежной двойственности, свойственной природе всех вещей. Бор заявил о революционном значении этой идеи, потому что она касалась не только атомов, но и всего на свете. «Мы были вынуждены признать, что должны пересмотреть не только наше понимание классической физики, — говорил он, — но и те понятия, что мы используем в повседневной жизни». Позднее он встретится с профессором Эйнштейном (разногласия между ними были куда более значительными, чем Бор потом рассказывал)[37], однако они так и не пришли к единому мнению. «Нам нужно пересмотреть представление, основанное на концепции причин и следствий», — говорил он.

Тем же удушающе жарким летом на выставке побывали Мелвилл, Люсиль, Ричард и Джоан Фейнманы. По такому случаю Джоан даже научилась есть бекон вилкой и ножом. А затем Фейнманы загрузили вещи в багажник машины и отправились в кажущееся бесконечным путешествие через полстраны. Их путь пролегал по небольшим дорогам, так как эра скоростных шоссе еще не наступила. На ночлег останавливались на фермах.

Выставка располагалась на территории площадью более полутора квадратных километров вдоль берега озера Мичиган, и повсюду здесь была представлена наука. Прогресс в чистом виде: на выставке провозглашалась невероятная польза науки для общества. «Знания — сила», — такой лозунг украшал книгу, которую Ричард взял с собой. Она называлась «Мальчик-ученый» (The Boy Scientist). Наука изобретала и модернизировала, она изменяла сам уклад жизни человека. Фирмы, названные в честь Эдисона, Белла и Форда, связывали страну сетями проводов и мостовых, и это было прекрасно. Так же как и демонстрации фотонов и электронов, зажигающие свет и несущие голоса через сотни километров.

Даже в период Великой депрессии чудо науки вселяло веру в будущее. Быстрые воздушные корабли, способные перевозить грузы по воздуху, высокие небоскребы и способы лечения различных болезней тела и общества уже маячили на горизонте. Кто мог знать, куда тогдашний сообразительный молодой ученик заведет этот мир? Один нью-йоркский литератор описал, как будет, по его мнению, выглядеть город пятьдесят лет спустя. Нью-Йорк 1982 года, по его представлениям, — город, в котором проживает пятьдесят миллионов человек. Ист-Ривер и бо́льшая часть Гудзона застроены. Машины движутся по многоуровневым развязкам и бесшумным рельсам. Ряды встроенных балконов обрамляют бесчисленные небоскребы. Питание доставляется в спрессованных брикетах. Дамские платья невероятно облегающие, как купальники из 1930-х. Герой этой фантазии — гений-старшеклассник, знающий куда больше всех остальных. Надежды, возлагаемые на молодое поколение, были как никогда высоки.

Ученые тоже работали над тем, чтобы внедрить в жизнь новые знания, перенося их из лабораторий в реальный мир. «Даже человеческий мозг подпитывается электричеством», — сообщил тем летом исследователь из Университета Чикаго. Мозговой центр использует огромное количество связей для клеток, каждая из которых может рассматриваться как крошечный химический завод или электронная батарея. Представители бизнеса Чикаго также вовсю использовали знания. В день открытия выставки астрономы, используя телескопы четырех обсерваторий, для включения освещения всей экспозиции уловили слабые лучи света от звезды Арктур, находящейся на расстоянии сорока световых лет, и применили электричество для их усиления. «Здесь собраны плоды человеческих достижений в области физики, доказывающие нашу способность преодолевать любые трудности», — заявил президент корпорации по

проведению ярмарок Руфус Дауэс, когда пушки с грохотом выпустили в воздух сотни американских флагов. Динозавр в натуральную величину внушал страх посетителям. Робот читал лекции. Те, кто не очень интересовался наукой, могли за определенную плату посмотреть, как безработная актриса Салли Рэнд танцует с веером из страусиных перьев. Фейнманы прокатились на аттракционе Скай-Райд, который представлял собой кабинку, подвешенную на двух тросах между башнями на высоте 183 метра, и посетили Зал науки, где на стене были записаны имена всех ученых от Пифагора и Эвклида и далее до Ньютона и Эйнштейна.

Фейнманы никогда не слышали о Боре или о других физиках, которые собрались в то лето в Чикаго, но, как и большинство американцев, из газет они отлично знали имя Эйнштейна. Тем летом он путешествовал по Европе, нигде не задерживаясь надолго. Он навсегда покинул Германию в поисках лучшей жизни и собирался прибыть в Нью-Йорк в октябре. На протяжении четырнадцати лет Америка переживала настоящую волну помешательства, восторгаясь этим «математиком». The New York Times, постоянными читателями которой были Фейнманы, превозносила Эйнштейна с не меньшим рвением, чем предыдущее поколение обожествляло Эдисона. Ни один ученый-теоретик ни до, ни после не разжигал в умах такое рвение к знаниям. Часть легенды, самая правдивая ее часть, заключала в себе революционную суть теории относительности, которая должна была перевернуть представления человека XX века об устройстве Вселенной. Другая часть была связана с высказыванием Эйнштейна о том, что лишь двенадцать человек во всем мире способны понять его работу. «Любой свет искажается на небесах», — сообщал в 1919 году заголовок в Times. «Успех теории Эйнштейна». «Звезды не там, где нам кажется, и не там, где должны находиться по расчетам, но беспокоиться не стоит». «Книга для двенадцати умных мужчин». «“Никто в мире не поймет”, — сказал Эйнштейн». Такими были заголовки газет. Один из них гласил: «Абсолют под угрозой». Другой весело заявлял: «Даже надежность таблицы умножения под сомнением».

Предполагаемая сложность теории относительности во многом способствовала ее популярности. Тем не менее, если бы доводы Эйнштейна были настолько непонятны, вряд ли она получила бы столь широкое распространение. Более сотни книг издали, чтобы объяснить таинственную загадку. Тон газетных публикаций, посвященных таинственной теории относительности, варьировался от почтительного до шутливого. В действительности же и авторы статей, и читатели совершенно

правильно поняли элементы этой новой физики. Там, где гравитация разрывает невидимое полотно пространства, оно искривляется. С эфиром покончено, так же как и с представлениями об абсолютном определении времени и пространства. Скорость света — величина постоянная, равная примерно 300 000 км/с, и световой луч отклоняется под воздействием гравитационного поля.

Совсем немного времени потребовалось, чтобы общая теория относительности по подводным кабелям долетела до нью-йоркских газет, а школьники, которые с трудом могли вычислить, чему равна гипотенуза прямоугольного треугольника, наизусть твердили формулу Эйнштейна: Е равно произведению М на С в квадрате. А некоторые могли даже объяснить, что из этого следует, что теоретически вещество и энергия взаимозаменяемы, а в атоме заключен новый, не изученный пока источник энергии. Возникало ощущение, что Вселенная сжимается. Она перестала быть просто необъятной, она стала представлять собой невообразимую совокупность всего. Теперь из-за того, что четырехмерное пространство-время искривляется, все стало казаться ненастоящим. Английский физик Джозеф Томсон с прискорбием заметил: «У нас есть пространство Эйнштейна, пространство де Ситтера[38], расширяющиеся Вселенные, сжимающиеся Вселенные, раскачивающиеся Вселенные, загадочные Вселенные. Фактически математик может создать Вселенную, лишь написав ее формулу… У него может быть своя собственная Вселенная».

Никогда не будет второго Эйнштейна. Как не будет и второго Эдисона, второго Хейфеца[39] или Бейба Рута[40] — личностей, столь сильно выделявшихся среди своих современников, при жизни ставших легендами, героями, полубогами в представлении общества. Еще будут (и определенно уже были) ученые, изобретатели, скрипачи и бейсболисты подобного уровня. Но мир слишком велик для таких исключительных героев. Если есть десяток Бейбов Рутов, считайте, нет ни одного. В начале XX века миллионы американцев не задумываясь могли назвать имя одного современного ученого. В конце XX века каждый, кто знает имя хотя бы одного ученого, легко может припомнить еще десяток. Издатели Эйнштейна тоже были весьма наивны. В эпоху развенчания мифов и деконструктивизма труднее создать кумиров. Те, кто оценивал Эйнштейна по достоинству, жаждали и могли изменить распространенное представление о научном гении. Казалось, формулировка Эдисона, ставившая тяжелый труд выше вдохновения, не удовлетворила этого возвышенного непостижимого мыслителя. Гений Эйнштейна в его творческом

вдохновении представляется почти божественным даром. Он вообразил свою Вселенную и создал ее. Возникало впечатление, что этот гений оторван от всего мирского, и именно это, казалось, наделяло его мудростью. Эйнштейна, как и практически всех спортивных звезд в дотелевизионную эпоху, видели исключительно на расстоянии. Ничего из того, что присуще реальному человеку, не привносилось в разрастающийся миф. К этому времени Эйнштейн изменился, это уже не тот искренний, аскетичного вида молодой конторский служащий, достигший пика своей работоспособности в первое двадцатилетие XX века. Публика вообще едва ли видела его таким, каков он был на самом деле, и практически ничего о нем не знала. В ее представлении он был колоритным и рассеянным: взъерошенные волосы, одежда не по размеру и легендарное отсутствие носков.

Мифологизация Эйнштейна иногда распространялась и на других ученых. Когда Поль Дирак приехал с визитом в Висконсинский университет в 1929 году, Wisconsin State Journal[41] опубликовала насмешливую статью о «парне, который прибыл в Висконсинский университет этой весной… который вытесняет с авансцены науки Ньютона и Эйнштейна». «Американские ученые, — как заметил репортер, — обычно заняты и активны, но Дирак совершенно иной. У него, кажется, уйма времени в запасе, и основная его работа — смотреть в окно». Окончание диалога с Дираком было односложным с его стороны. (Читателю могло показаться, что перед ним древний старик, но на самом деле ему было всего двадцать семь.)

— Доктор, не могли бы вы в нескольких словах объяснить суть ваших исследований?

— Нет.

— Хорошо. Тогда правильно ли будет сказать, что «профессор Дирак решает любые задачи математической физики, но не способен оценить среднюю силу удара Бейба Рута»?

— Да.

— Вы ходите в кино?

— Да.

— Когда были последний раз?

— В 1920 году. Может, еще в 1930-м.

Гений производил впечатление человека не от мира сего. Именно европейцы, такие как Эйнштейн и Дирак, воплощали для американцев чудаковатый образ ученого в значительно большей степени, чем их практичные соотечественники, занятые исследованиями совершенно непонятных устройств и машин.

— Это тот высокий странный парень?.. — спрашивала героиня Барбары Стэнвик в фильме «Леди Ева» (The Lady Eve). Ее

интересовал ученый, изучающий змей, которого играл Генри Фонда и который был примерно ровесником Фейнмана.

— Он не странный. Он ученый.

— Ох, так вот в чем дело! Я подозревала, что он не такой, как все.

«Не такой, как все» в данном контексте означало «безобидный»: у одаренных людей в качестве компенсации за их талант всегда обнаруживается какая-либо человеческая странность. В таком распространенном представлении присутствовал элемент самозащиты. И отчасти это соответствовало правде. Действительно, многие ученые казались отрешенными, пребывавшими как будто в других мирах. Они небрежно одевались и порой не могли поддержать светскую беседу.

Если бы репортер из Journal более активно поинтересовался мнением Дирака об уровне американской науки, он добился бы от него более развернутого ответа. «В Америке нет физиков», — горько заметил Дирак в узком кругу. Такая оценка слишком резка, но он ошибся всего на несколько лет. Ведь, говоря о физике, Дирак тогда имел в виду нечто новое. Физика, о которой шла речь, не имела ничего общего с пылесосами, новыми видами тканей или техническими чудесами, произошедшими за последние десять лет. Не имела она ничего общего и с выключателями света, и с радиовещанием. Не имела она ничего общего даже с измерением заряда электрона или определением частотного спектра раскаленного газа в лабораторных опытах. Физика, о которой говорил Дирак, была связана с в*и*дением реальности, таким разрозненным, неожиданным и неопределенным, что оно пугало представителей старой школы американских ученых, которые наблюдали за тем, что происходит в науке.

«Я полагаю, что существует вполне реальный мир, который мы способны ощутить с помощью наших чувств, — говорил главный физик Йельского университета Джон Зелени, словно оправдываясь, во время своего выступления в Миннеаполисе. — И я верю в это так же, как в то, что Миннеаполис существует в реальности, а не в моем воображении». То, что Эйнштейн говорил (или не говорил) об относительности, надежно работало в квантовой механике. Но людей, настолько владеющих математическими методами, чтобы это понять, можно было перечесть по пальцам.

Ричард и Джулиан

Лето приносило в Фар-Рокуэй соленую жару, которую ветер разносил по пляжам. Асфальт поблескивал преломленными лучами света. Зимой из низких серых облаков рано выпадал снег. И хотелось, чтобы белые часы тянулись и тянулись и небо оставалось таким ярким и ослепляющим. Свободное дерзкое время. Ричард терял счет часам, погрузившись в свои блокноты или забредая в аптекарскую лавку-закусочную, где жестоко подшучивал над официантками, разыгрывая оптическо-гидродинамический трюк с перевернутым стаканом воды и монеткой, лежащей на столешнице.

На пляже он несколько дней наблюдал за девушкой. У нее были теплые голубые глаза и глубокий взгляд. Свои длинные волосы она ловко заплетала в косу и собирала в узел. Когда выходила из воды, она расплетала их, и мальчишки, которых Ричард знал еще со школы, собирались вокруг нее. Ее звали Арлин Гринбаум. Долгое время он думал, что ее имя пишется через «е» как Арлен. Она жила в Сидархерсте на Лонг-Айленде, и мысли о ней полностью поглотили Ритти. Она была красива и восхитительна, но для Ричарда знакомство с девушками в принципе казалось делом безнадежным, к тому же у Арлин уже был парень. Тем не менее Фейнман стал посещать общественный клуб при синагоге, в который ходила Арлин. Когда она записалась на уроки искусства, Ричард последовал за ней. В один прекрасный день он осознал, что лежит на полу и дышит через соломинку, в то время как кто-то из учеников делает гипсовый слепок его лица.

Если Арлин и замечала Ричарда, то не подавала виду. Но однажды она пришла на вечеринку в самый разгар урока поцелуев. Парень постарше как раз проводил обучение. Он объяснял, как соединять губы и что делать, чтобы нос не мешал. И конечно, инструкции сопровождались солидной долей практики. Ричард тренировался в паре с девушкой, которую едва знал. Появление Арлин внесло некоторую сумятицу. Почти все отвлеклись, чтобы поприветствовать ее. Все, как ей показалось, кроме одного ужасного грубияна в дальнем углу, который демонстративно продолжал целоваться.

Время от времени Ричард встречался с девушками. Но ему никак не удавалось избавиться от чувства, что он чужак, вовлеченный в ритуал, правил которого не знал. Мама научила его основным манерам. Однако, несмотря на это, ожидание в гостиных, приглашения на танцы и стандартные фразы типа

«Спасибо за прекрасный вечер» заставляли его чувствовать себя нелепо. Словно он никак не мог расшифровать код, который всем остальным был хорошо знаком.

Он не вполне осознавал, какие надежды возлагали на него родители. Как не ощущал он в полной мере и ту пустоту, что осталась после смерти его младшего брата, — мать все еще часто вспоминала о малыше. Не понимал Ричард и причин, вынудивших мать спуститься по социальной лестнице в связи с возникшими трудностями. С началом Великой депрессии Фейнманам пришлось отказаться от дома на Нью-Бродвей и переехать в маленькую квартиру, где гостиная и столовая служили также спальнями. Мелвилл постоянно был в разъездах, что-то продавая, а когда бывал дома, то читал журнал National Geographic. Он коллекционировал подержанные журналы. По воскресеньям отец Ричарда выходил на улицу и рисовал пейзажи или цветы. Бывало, они вместе с детьми ездили в город и посещали музей Метрополитен. Там они ходили в Египетский зал, предварительно изучив информацию об иероглифах в энциклопедии, чтобы попытаться хоть немного расшифровать древние артефакты, привлекавшие внимание посетителей.

Ричард все так же ковырялся в радиоприемниках. Великая депрессия способствовала тому, что количество тех, кто хотел бы недорого отремонтировать радиоприемники, возросло, и Ричард оказался востребован. Прошло немногим более десяти лет с начала массовых продаж радиоприемников, но они проникли уже почти в половину домов Америки. К 1932 году цена нового приемника упала до 48 долларов, что составляло менее трети от цены трехлетней давности. Появились приемники «Миджет», в которых пять ламп компактно располагались в удивительной двухкилограммовой коробке со встроенной антенной и маленькими колонками размером с долларовую купюру. Некоторые приемники были с круглыми ручками, позволявшими самостоятельно регулировать высокие и низкие тона. Другие же позиционировались как очень стильные, с атласной отделкой под черное дерево, хромированными регуляторами и решетками громкоговорителей.

В сломанных приемниках Ричард находил самые разные виды повреждения схем. Он перепаивал проводку выключателей, карабкался на соседнюю крышу, чтобы установить там антенну. Он искал причину поломки — воск в конденсаторах или остатки угля на обгоревших резисторах. Позже из этого получилась настоящая история, которую Ричард назвал «Он чинит радио силой мысли». Главный герой этой истории — маленький мальчик с огромной, нереальных размеров отверткой, торчащей

из заднего кармана. И этот мальчик мог решать невероятно сложные задачи. Последний и лучший из всех сломанных радиоприемников, тот, благодаря которому Ричард приобрел свою репутацию, при включении издавал леденящий кровь вопль. Ричард ходил вокруг него в раздумьях, пока ворчливый скупой владелец приемника доставал его вопросами: «Что ты делаешь? Починить-то сможешь?» Ричард размышлял. Что могло вызывать шумы, изменяющиеся со временем? Это могло быть связано с нагревом ламп: сначала посторонний сигнал нарастал до скрежета, а потом устанавливался нормальный звук. Ричард остановился, подошел к приемнику, вытащил лампу, потом другую, поменял их местами. Затем включил приемник — посторонний звук исчез. *Мальчик, который чинит радио силой мысли,* — так он думал о себе, и так о нем стали думать его клиенты в Фар-Рокуэй. Это сравнение заслуживало доверия. Голова работала. Логическим умозаключениям можно доверять. Упражнения из школьного учебника остались позади. Волнующее желание решать задачи, ощущение мыслительного процесса и того, как идеи сменяют одна другую, пока внезапно не сливаются в единый узор, осознание силы и своей правоты, — все эти чувства вызывали состояние, напоминающее зависимость. Воодушевленный этим, Фейнман мог впадать в такое глубокое состояние транса, что это пугало даже его семью.

В те времена знания были в дефиците. Комиссионки были редким явлением. Подростку в Фар-Рокуэй, чтобы найти учебник математики, приходилось приложить немало сил и изобретательности. Каждая радиопередача, каждый телефонный звонок, каждое выступление в местной синагоге, каждый фильм в новом кинотеатре на Мотт-авеню были событиями особенными. И каждая книга Ричарда запечатлелась в его памяти навсегда. Когда что-то в учебнике по основам математики озадачивало его, он начинал прорабатывать формулу за формулой, заполняя блокнот самостоятельно придуманными упражнениями. С друзьями они обменивались книжками по математике, как бейсбольными карточками. И если мальчик по имени Морри Джейкобс говорил ему, что косинус угла 20°, умноженный на косинус угла 40° и умноженный на косинус угла 80°, равнялся одной восьмой, Ритти запоминал это на всю жизнь. Как запоминал и то, где находился в тот момент, когда узнал это, — в кожной галантерейной лавке отца Морри.

Даже в разгар эпохи радио сознание людей не подвергалось воздействию, подобному тому, что принесет впоследствии телевидение, — настоящей бомбардировке визуальными образами и звуками мерцающих вспышек доступных знаний.

Истинные знания были тогда редки и потому ценны. То же самое происходило и в среде ученых. Валюта научной информации тогда еще не обесценилась ее доступностью. Для ученика это означало, что за вопросами не придется далеко ходить. Фейнман быстро почувствовал себя вблизи той границы, за которой окружающие его люди не знали ответов. Даже в старшей школе, когда он после полудня приходил в лабораторию, чтобы поэкспериментировать с магнитами и помочь учителю убрать лабораторные принадлежности, ему нравилось задавать вопросы, которые ставили преподавателя в тупик.

Теперь же, оканчивая среднюю школу, он не мог точно сказать, насколько близок к той самой науке, в которой ученые выискивали нетривиальные задачи, словно выкапывали клубни картофеля из земли. Прорыв в квантовой механике обнажил фундаментальные проблемы. Физика тогда считалась наукой молодой, непознанной, покрытой тайнами больше, чем любые человеческие познания дня сегодняшнего, но в то же время чем-то напоминала семейное дело. Несмотря на зарождение новейших теорий, таких как ядерная физика или квантовая теория поля, опубликованных материалов было все еще крайне мало, да и те несколько научных журналов, в которых появлялись такие статьи, издавались в основном в Европе. Ричард, конечно, не знал о них ровным счетом ничего.

В это же время в другой части города еще один не по годам развитый подросток по имени Джулиан Швингер потихоньку познавал мир физики. Он настолько же был городским ребенком, насколько Фейнман — мальчиком с окраины. Младший сын успешного владельца ателье по пошиву одежды, он рос сначала в еврейской части Гарлема, потом на Риверсайд-драйв, где темные величественные дома с каменными стенами тянулись вдоль берега реки Гудзон. Улица была предназначена для автомобилей, но по ней все еще ездили конные повозки, которые развозили контейнеры по лавкам торговцев, расположенных в нескольких кварталах к востоку. Швингер знал, где достать книги. Он частенько рыскал по букинистическим магазинам на Четвертой и Пятой авеню в поисках продвинутой литературы по математике и физике. Он учился в школе Харриса, известной своими связями с Городским колледжем Нью-Йорка, и в 1934 году, еще до выпускного, когда ему было всего шестнадцать, открыл для себя современную физику. У Джулиана было вытянутое серьезное лицо, слегка покатые плечи. Он просиживал в библиотеке колледжа за чтением работ Дирака в Proceedings of the Royal Society of London («Труды Лондонского Королевского общества») и статей в Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion[42]. Он также

читал и Physical Review, который спустя сорок лет стал издаваться не раз в месяц, а каждые две недели в надежде конкурировать с более известными европейскими изданиями. Учителям Швингер казался слишком застенчивым, хотя держался всегда не по годам достойно.

В тот год он аккуратно напечатал на шести стандартных листах свой первый труд по физике «О взаимодействии нескольких электронов» (On the Interaction of Several Electrons), изящество и отточенность которого свидетельствовали о том, что его автор зрел отнюдь не по годам. За основу своей работы Джулиан взял новые положения теории поля: «Две частицы не вступают в непосредственное взаимодействие; их связи обусловлены влиянием поля одной из частиц на поле другой, находящейся в непосредственной близости». То есть электроны не просто отталкиваются друг от друга, они находятся в поле таинственной субстанции, пришедшей взамен эфиру, а волны, образуемые ими, действуют на другие электроны». Швингер не претендовал на то, что совершил прорыв своей работой. Он лишь показал, что понимает «квантовую электродинамику Дирака, Фока[43] и Подольского[44]», «представление Гейзенберга»[45] о потенциалах в вакууме и может применять «единицы Лоренца — Хевисайда» для выражения этого потенциала в относительно компактных формулах. Это была тяжелая артиллерия, размещенная на слабом грунте. Поле Максвелла, в котором столь эффективно объединились электричество и магнетизм, теперь предстояло квантовать, выразив его через волновые пакеты конечного размера, которые невозможно было бы уменьшать далее. Эти волны одновременно были гладкими и динамичными. В начале своей профессиональной деятельности в области физики Швингер рассматривал даже не это сложное электромагнитное поле, а поле еще более абстрактное: он отошел от материального аспекта, работая не с частицами, а с математическими операторами. Он описал эту теорию последовательностью из 28 уравнений. Однажды он был вынужден прервать работу, когда рассматривал уравнение № 20. Часть уравнения выглядела очень громоздкой: появлялись бесконечные величины. И если применять это уравнение к описанию физических свойств, то обнаруживалась тенденция электрона взаимодействовать с самим собой. Взаимодействуя с собственным полем, электрон приобретал (математически) бесконечную энергию. Дирак и другие неохотно соглашались иметь дело с этой частью формулы, Швингер же нашел правильный подход. Он просто игнорировал эту часть уравнения и перешел к формуле № 21.

Джулиан Швингер и Ричард Фейнман, ровесники, одержимые абстрактным миром науки настолько, насколько могут быть одержимы шестнадцатилетние мальчишки, уже в юности выбрали разные дороги. Швингер изучал теории новой физики, Фейнман заполнял свои школьные блокноты математическими формулами. Швингера интересовали мастодонты, Фейнман пытался произвести впечатление на ровесников занимательными фокусами. Швингер стремился к городской интеллектуальной элите, Фейнман бегал по пляжам и мостовым пригорода. Если бы они встретились, то вряд ли могли бы найти тему для разговора. Так они и не встретятся в течение последующих десяти лет, вплоть до Лос-Аламоса. И уже значительно позже, совсем в зрелом возрасте, когда разделят Нобелевскую премию как соперники, на одном из ужинов они поразят собравшихся, соревнуясь, кто первым вспомнит в алфавитном порядке заголовки и определения из «Британской энциклопедии», выпущенной за полвека до этого.

Когда детство закончилось, Ричарду пришлось поработать в разных местах — от местной типографии до небольшого отеля в Фар-Рокуэй, принадлежащего ее тете. Он пытался поступить в колледж. Его оценки по математике и естественным наукам были превосходны, но по другим предметам немного уступали, а у колледжей в 1930-х годах был лимит на зачисление евреев. Он заплатил пятнадцать долларов за вступительные экзамены в Колумбийский университет и долго сожалел о потраченных деньгах, когда его не приняли. Наконец, его согласились зачислить в Массачусетский технологический институт.

Массачусетский технологический институт

* * *

СЕМНАДЦАТИЛЕТНИЙ студент-первокурсник Теодор Велтон на Дне открытых дверей Массачусетского технологического института (МТИ) весной 1936 года помогал студентам старших курсов демонстрировать работу аэродинамической трубы. Как и большинство его однокурсников, поступая в институт, он знал все о самолетах, электричестве, химических веществах и восхищался Альбертом Эйнштейном. Он был родом из маленького городка Саратога-Спрингс, расположенного в штате Нью-Йорк. Проучившись почти год в институте, Велтон не растерял уверенности в себе. Закончив выполнять свои обязанности по обслуживанию аэродинамической трубы, он отправился посмотреть другие научные экспонаты, которые превратили мероприятие в настоящую выставку для родителей и гостей из Бостона. Он подошел к математической секции и там, в толпе, заметил еще одного похожего на него первокурсника с оттопыренными ушами и румянцем на лице. Тот как-то несуразно управлялся со сложным вычислительным устройством величиной с чемодан, которое называлось анализатор гармоник. Парень фонтанировал объяснениями и отвечал на вопросы как конгрессмен на пресс-конференции. Устройство могло разложить любую волну на сумму синусоидальных и косинусоидальных волн. У Велтона прямо уши загорелись, когда он услышал, как Дик Фейнман пылко объясняет принципы работы преобразования Фурье — сложного математического метода гармонического (спектрального) анализа волн. До этого он и подумать не мог, что кто-то из новичков, кроме него, обладает такими знаниями.

Велтон (предпочитавший, чтобы его называли по инициалам Ти Эй) выбрал физику в качестве основного предмета. Фейнман же дважды менял специализацию. Сначала он поступил на математический. По результатам экзаменов его взяли сразу на второй год вычислительного курса, где изучали дифференциальные уравнения и интегрирование по трем переменным. Это было просто, и Фейнман подумывал о досрочной сдаче экзаменов. Но в то же время он сомневался, что хочет посвятить этому свою жизнь. Американские математики в 1930-х годах как никогда оперировали строгими теоретическими понятиями и презирали так называемую прикладную часть. Фейнману же, наконец-то оказавшемуся среди единомышленников и знатоков радио, математика теперь казалась слишком абстрактной и неконкретной наукой.

По рассказам современных физиков, поворотным моментом в

их жизни часто бывает тот, когда они начинают осознавать, что математика перестала быть для них интересной. А начинали все, как правило, именно с нее, потому что ни один другой школьный предмет не позволял в полной мере проявить свои способности. Потом или наступал кризис и прозрение, или возникала неудовлетворенность, и они или сразу, или постепенно начинали интересоваться смежными областями науки. Вернер Гейзенберг, который был на семнадцать лет старше Фейнмана, пережил такой кризисный момент, когда работал на знаменитого математика Фердинанда фон Линдемана в Мюнхенском университете. Лохматая, вечно тявкающая собака Линдемана почему-то никак не выходила у Гейзенберга из головы. Она напоминала ему пуделя из «Фауста» и совершенно не давала возможности сосредоточиться, когда профессор, застав Гейзенберга за чтением новой книги Вейля о теории относительности, сказал: «Раз так, вы совершенно потеряны для математики». Фейнман, проучившись полгода на первом курсе и прочитав работу Эддингтона о теории относительности, обратился к декану своего факультета с классическим вопросом: «Для чего нужна математика?» И получил ответ: «Если вы спрашиваете, то вам тут не место».

Возникало ощущение, что изучать математику надо лишь для того, чтобы потом преподавать математику. Декан предложил ему сделать расчет вероятностей для страховых компаний. И он не шутил. Незадолго до этого доктор наук Эдвард Мендж провел исследования профессиональной среды, и полученные результаты вошли в его монографию «Возможности карьерного роста для выпускников научных факультетов» (Jobs for the College Graduate in Science). Доктор Мендж писал: «Американцев в большей степени привлекают прикладные, нежели фундаментальные принципы, также называемые “практичными”». И это значительно ограничивало перспективы трудоустройства для тех, кто планировал связать жизнь с математикой, ведь, согласно выводам Менджа, «найти хорошую работу математикам довольно сложно, разве что занять профессорскую должность в университете. Но можно найти и практическое применение знаниям, устроившись экспертом-статистиком в одну из крупных страховых компаний…» Фейнман перешел сначала на электротехнический, а потом снова на факультет физики.

И вовсе не потому, что физики имели больше возможностей в профессиональном плане. Американское физическое общество к тому моменту насчитывало всего две тысячи членов. И хотя их количество увеличилось вдвое за десять лет, но все же оно выглядело отнюдь не впечатляюще. Работая в сфере образования, в Национальном бюро стандартов или в Бюро погоды, физик мог

рассчитывать на хорошую зарплату от трех до шести тысяч долларов в год. Однако Великая депрессия вынудила правительство и ведущие исследовательские корпорации сократить почти наполовину штат научных сотрудников. Профессор физики из Гарварда Эдвин Кемпбл перспективы трудоустройства выпускников-физиков назвал кошмаром. И аргументов в пользу того, чтобы специализироваться в этой области науки, не хватало.

Отвлекаясь от своего прагматизма, Мендж, пожалуй, предоставил единственный такой аргумент. «Испытывает ли студент, — спросил он, — непреодолимое желание внести свой вклад в мировую науку? Хочет ли он работать не покладая рук, чтобы его труды были заметны, как круги на водной глади от брошенного камня? Другими словами, настолько ли он увлечен предметом, что не остановится, пока не узнает о нем все, что только возможно?»

Три самых влиятельных американских физика — Джон Слейтер, Филип Морс и Джулиус Стреттон — работали в тот период в Массачусетском технологическом институте. Они были выходцами из приличных семей, воспитаны в духе христианских традиций и полностью соответствовали стереотипу ученого, в отличие от всех тех, кому вскоре суждено было затмить их. Иностранцы, например Ханс Бете[46] и Юджин Вигнер[47], уже прибыли в Корнеллский и Принстонский университеты. Евреев Исидора Раби и Роберта Оппенгеймера приняли на работу в Колумбийский и Калифорнийский, несмотря на антисемитские настроения и в том, и в другом университетах. Стреттон впоследствии возглавил Массачусетский технологический, а Морс стал первым руководителем Брукхейвенской национальной лаборатории ядерных исследований. Слейтер занимал должность декана. Он был представителем американской молодежи, получившей образование за границей. Впрочем, он не особенно глубоко погрузился в пучины европейской физики, как, например, Раби, который учился и в Цюрихе, и в Мюнхене, и в Копенгагене, и в Гамбурге, и в Лейпциге, и снова в Цюрихе. Слейтер прошел краткий курс в Кембридже в 1923 году и почему-то упустил возможность встретиться с Дираком, хотя, как минимум, они оба прослушали один общий курс.

Однако в интеллектуальном плане Слейтер и Дирак в последующие десять лет сталкивались неоднократно. Слейтер постоянно делал незначительные открытия, о которых Дирак сообщал за несколько месяцев до этого. Это раздражало Слейтера. У него создавалось впечатление, что Дирак намеренно скрывает результаты своих исследований, окутывая их паутиной

совершенно лишних запутанных математических формулировок, которым Слейтер не доверял. На самом деле он сомневался в весьма размытых философских концепциях, которые использовали европейские ученые в квантовой механике. Все эти утверждения о дуальности или взаимодополняемости напоминали ему историю доктора Джекила и мистера Хайда. Сомнения вызывали и трактовки времени и вероятности, а также домыслы о влиянии человека как стороннего наблюдателя. «Не люблю мистику, — говорил Слейтер. — Я предпочитаю точность». Большинство европейских физиков откровенно не скрывало свои проблемы. Некоторые из них считали своим долгом принять на себя ответственность за последствия полученных расчетов. Они отказывались внедрять свои новейшие разработки, пока физическая картина не прояснится полностью. Чем больше они манипулировали матрицами, чем больше перетасовывали дифференциальные уравнения, тем больше начинали сомневаться. *Куда девается частица, когда никто не смотрит*? За каменными стенами старых университетов владычествовали старые привычные воззрения. Теорией о спонтанном возникновении фотонов в излучении возбужденных атомов — эффект без причины — ученые как кувалдой могли размахивать в спорах о кантианской причинности природы. В Европе, возможно, но не в Америке. «В наше время физика-теоретика в теориях должно интересовать лишь одно, — безапелляционно высказался Слейтер вскоре после того, как Фейнман поступил в Массачусетский технологический. — Теории должны давать четкие прогнозы о ходе экспериментов. Ничего более».

Слейтер не просто оспаривал философский подход в физике. «Вопросы о теориях, которые не в состоянии правильно предсказать результаты экспериментов, кажутся мне бессмысленными, — говорил он. — И я предпочел бы оставить их тем, кто получает от них хоть какое-то удовольствие».

Высказываясь в защиту здравого смысла и практичности и утверждая, что теория должна быть служанкой эксперимента, Слейтер обращался в первую очередь к своим американским коллегам. Эдисон, а не Эйнштейн, все еще олицетворял для них образ ученого. Упорный труд, а не вдохновение. Математика непостижима и ненадежна. Другой физик, Эдвард Кондон, говорил, что всем известно, чем занимаются физики, использующие математические методы: «Они внимательно изучают результаты экспериментов и переписывают их таким образом, что сами едва могут прочитать свои математические выражения. Физика только тогда оправдывает себя, — добавлял он, — когда позволяет прогнозировать результат эксперимента, и

только в тех случаях, когда на предсказание требуется меньше времени, чем на проведение самого эксперимента».

В отличие от европейских коллег, американские физики-теоретики не имели своих кафедр. Они вынуждены были делить помещения с экспериментаторами, вникать в их проблемы и пытаться давать практичные ответы на их вопросы. Тем не менее время эдисоновской науки заканчивалось, и Слейтер знал это. По распоряжению ректора МТИ Карла Комптона он создал кафедру теоретической физики, чтобы вывести эту область на передовые позиции американской науки и способствовать тому, чтобы страна выглядела на мировой научной арене более достойно. Он и коллеги знали, насколько не готовы Соединенные Штаты заниматься подготовкой нового поколения физиков. Знали об этом и руководители стремительно развивающихся технологических производств.

Когда Слейтер вступал в должность, кафедра Массачусетского технологического насчитывала едва ли дюжину аспирантов. Шесть лет спустя их количество увеличилось до шестидесяти. Несмотря на Великую депрессию, в Институте появились физическая и химическая лаборатории, финансируемые промышленником Джорджем Истманом. Основная часть исследований касалась возможности использования электромагнитного излучения для определения структуры вещества. Большое внимание уделялось спектроскопии — определению спектрального состава светового излучения различных веществ, а также рентгеновской кристаллографии. (Каждый раз, когда физики обнаруживали новый вид «лучей» или частиц, они использовали рентгеновские лучи для определения расстояния между молекулами.) Новое вакуумное оборудование и отличные зеркала, изготовленные методом травления, позволяли делать точный спектральный анализ. А мощнейшие электромагниты создавали поля, равных по силе которым еще не было.

Джулиус Страттон и Филип Морс читали спецкурс старшекурсникам и аспирантам, который назывался так же, как и работа Слейтера — «Введение в теоретическую физику». Слейтер с коллегами разработал его всего несколькими годами ранее. В нем воплотились основные принципы их новых взглядов на преподавание физики в МТИ. Смысл в том, чтобы объединить в новом курсе дисциплины, которые преподавались до этого раздельно. В их число входили механика, электромагнетизм, термодинамика, гидродинамика и оптика. Студенты изучали эти предметы постепенно, в специальных лабораториях, причем основное внимание уделялось проведению экспериментов.

Слейтер же объединил эти предметы, чтобы подготовить студентов к изучению нового направления — современной теории атома. Еще не существовало курса квантовой механики, но студенты Слейтера уже рассматривали атом не с точки зрения классической механики, в которой действуют законы движения твердых тел, а с точки зрения волновой теории, где изучают вибрирующие струны и звуковые волны, существующие внутри полых объектов. Преподаватели с самого начала объясняли студентам, что на начальной стадии изучения теоретической физики их задача будет заключаться не в том, чтобы освоить математические вычисления, но в том, чтобы применить математические методы к реальным явлениям во всем их разнообразии: движение тел и жидкостей, магнитные поля и силы, течение воды и электрический ток, волны на воде и световые волны.

Первокурсник Фейнман жил в комнате с двумя старшекурсниками, посещавшими эти лекции. В течение года он привык к их разговорам и даже иногда принимал участие в спорах, удивляя соседей, предлагая свой способ решения задач. «Почему бы не попробовать уравнение Бернулли?» — спрашивал он. В его произношении фамилия звучала как «Берноули»[48], ведь он получил знания, читая энциклопедии и немногочисленные учебники, которые находил в Фар-Рокуэй. Ко второму курсу он решил, что и сам готов изучить этот курс.

В первый день все заполняли регистрационные карточки: у старшекурсников карточки были зеленые, у аспирантов — коричневые. Фейнман с гордостью ощущал в своем кармане розовую карточку студента-второкурсника. Кроме того, он носил офицерскую форму ROTC[49], так как внестроевая подготовка была обязательной для учащихся первых курсов. Он выделялся среди остальных, поэтому к нему подсел еще один второкурсник в форме. Это был Ти Эй Велтон. Он помнил математический талант Ричарда еще со дня открытых дверей, что состоялся весной.

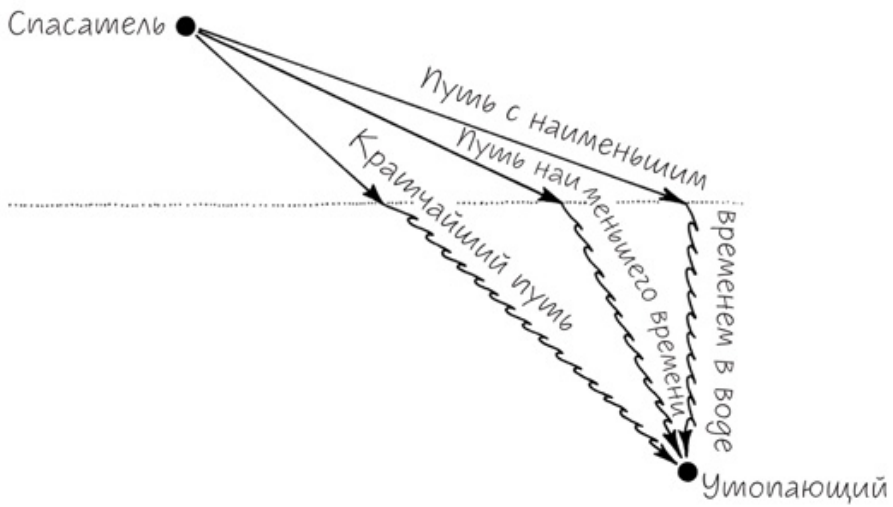
Фейнман взглянул на книги, которые Велтон выкладывал на стол. Среди них была и «Абсолютное дифференциальное исчисление» (Absolute Differential Calculus) Туллио Леви-Чивиты, которую он никак не мог взять в библиотеке. Велтон же, глядя на стол Фейнмана, понял, почему не смог достать «Векторный и тензорный анализ» (Vector and Tensor Analysis) А. Уилса. Довольно впечатляюще. Второкурсник из Саратога-Спрингс претендовал на то, что знает все об общей теории относительности. Второкурсник из Фар-Рокуэй заявлял, что выучил квантовую механику по книге некоего Дирака. Они

несколько часов проговорили о важности ознакомления с работами Эйнштейна по гравитации. Оба осознавали, что, как сформулировал Велтон, «в борьбе против агрессивно настроенных старшекурсников их дружба пойдет на пользу обоим».

Тот факт, что курс введения в теоретическую физику привлек пару одаренных второкурсников, не остался незамеченным. Преподававший на первом семестре Страттон порой терялся в потоке формул на доске. Его лицо тогда заливалось краской, он протягивал мел со словами: «Мистер Фейнман, как бы вы решили эту задачу?» — и Ричард широкими шагами направлялся к доске.

Оптимальный путь

С проявлениями закона природы, сформулированного как «принцип наименьшего действия», мы сталкиваемся постоянно. Мы используем его при решении самых простых задач. Спасатель, находящийся на пляже, замечает впереди по диагонали от себя тонущего пловца на некотором расстоянии от берега. Спасатель может пробежать вдоль берега с определенной скоростью, а затем подплыть к утопающему со скоростью значительно меньшей. Как вычислить самый быстрый путь до утопающего?



Траектория, при движении по которой затрачивается минимальное время. Скорость движения спасателя по суше выше, чем в воде. Таким образом, кратчайший путь — это поиск компромисса.

Так же кажется, что и свет, скорость распространения которого в воздухе больше, чем в воде, движется по такой же траектории от рыбы, плавающей под водой, к глазам наблюдателя.

В данном случае кратчайший путь, обозначенный прямой линией, не самый быстрый, потому что спасатель проведет слишком много времени в воде. Если он пробежит некоторое расстояние по пляжу и нырнет в воду строго напротив утопающего, — минимальное расстояние по воде — он тоже потеряет время. Оптимальное решение — это путь, который займет минимальное время. То есть спасатель должен пробежать по пляжу и войти в воду, находясь под углом относительно

утопающего. Любой студент способен рассчитать оптимальный путь. Спасателю же приходится доверяться инстинктам. Математик Пьер Ферма предположил в 1661 году, что искривление лучей света, входящих в воду (преломление, которое используется в линзах и вызывает миражи), возникает из-за того, что свет ведет себя как спасатель с безупречными инстинктами. Он следует по пути, на преодоление которого потребуется меньше всего времени. (Рассуждая от обратного, Ферма предположил, что скорость света становится меньше в более плотных средах — с большим показателем преломления.) Позднее Ньютон и его последователи полагали, что доказали противоположное, и скорость света, как и звука, в воде больше, чем в воздухе. Однако Ферма, оставшийся верным своим простым принципам, оказался прав.

Теология, философия и физика еще не стали явно отличаться друг от друга, поэтому у ученых, естественно, возник вопрос, а какую Вселенную создал бы Бог. Даже в эпоху квантовой физики этот вопрос иногда возникал в умах ученых. Эйнштейн не гнушался упоминать имя Господа всуе, хотя и высказывался, порой виртуозно играя словами, о том, что «Бог не играет в кости со Вселенной», или произносил фразы, подобные той, что позже высекли на камне в Зале науки Принстонского университета: «Господь Бог изощрен, но не злонамерен». Эйнштейн умел мастерски формулировать. Его объяснения были понятны и широко цитировались физиками независимо от того, были те верующими или нет. Он умел объяснить устройство Вселенной, не задевая чувств прогрессивных верующих, но и не вызывая опровержений со стороны убежденных атеистов, которые определяли Бога как краткое поэтическое обозначение *законов и принципов движения материи и энергии.* Эйнштейн уважительно, хотя и нейтрально, отзывался о Боге. Его формулировки принимали даже такие рьяные противники религии, как Дирак, о котором Вольфганг Паули однажды сказал: «Наш друг Дирак тоже религиозен. Его религия держится на постулате “Нет Бога, и Дирак пророк Его”».

Ученым XVII и XVIII веков тоже приходилось вести двойную игру, и ставки были куда выше. Отрицание Бога все еще считалось преступлением, караемым смертной казнью, и не только в теории: виновных могли повесить или сжечь. Ученые оскорбляли веру уже только тем, что утверждали: определенные знания должны подкрепляться наблюдениями и экспериментами. Тогда еще не понимали, что изучать движение падающих тел и происхождение чудес должны разные группы философов. Однако Ньютон и его современники успешно выстроили научные

доказательства существования Бога, определив его как первопричину в цепочке логических рассуждений. Элементарные частицы должны быть неделимы, писал Ньютон в своей «Оптике» (Opticks): «Поэтому никакие усилия не способны разделить или разрушить их. Ни в чьей власти разделить то, что создал Бог».

Но Рене Декарт в труде «Принципы философии» (Principles of Philosophy) утверждал обратное — что элементарные частицы не могут быть неделимы: «Не может атом или любая частица материи быть неделима по своей природе (как предполагают некоторые философы)… Ибо даже если Бог и создал частицу столь малую, что невозможно ни одному живому существу разделить ее, Он не мог самого себя лишить этого права, потому что совершенно недопустимо, чтобы Бог ограничивал собственное могущество…»

Мог ли Бог создать атомы настолько несовершенными, что их можно разделить? Мог ли Бог создать атомы настолько совершенными, чтобы тем самым бросить вызов самому себе? Это была лишь одна из проблем, связанных со всемогуществом Бога, которые возникли еще до того, как теория относительности определила верхний предел скорости, а квантовая механика — верхний порог определенности. Натурфилософы же хотели подтвердить силу Бога и Его существование в каждой частичке Вселенной. Но еще более страстно желали они понять, почему планеты движутся, предметы падают, а если их подбросить, то отскакивают, без какого-либо божественного вмешательства. Неудивительно, что Декарт добавил к своим общим тезисам оговорку, чтобы снять с себя ответственность: «В то же время, признавая свою ничтожность, я ничего не утверждаю и представляю все высказанные мысли на суд католической церкви и людей, обладающих большей мудростью, чем я. Надеюсь, никто не примет все, что я написал, на веру, если только лично не получит подтверждения».

Чем больших высот достигала наука, тем меньше ей нужен был Бог. В гибели воробья не было особого промысла[50] — только лишь второй закон Ньютона $F=ma$. Силы и их соотношения с массой и ускорением везде были одинаковы. Ньютоновское яблоко падало с дерева так же предсказуемо, как Луна закатывалась за горизонт ньютоновской Земли. Почему Луна движется по изогнутой траектории? Потому что эта траектория — сумма всех крошечных траекторий, по которым движется Луна в каждый момент времени, и потому что в каждый последующий момент направление ее движения изменяется под действием таких же сил, как и те, что заставляют яблоко падать на Землю. Бог не должен был выбирать траектории движения.

Или, выбрав их однажды при сотворении мира, Он не имел нужды менять их. А Бог, не вмешивающийся в ход событий, — это Бог, который все больше отходит на второй план.

Несмотря на то что натурфилософы XVIII века научились определять траектории планет и сталкивающихся частиц ньютоновским методом, французский математик и естествоиспытатель Пьер Луи де Мопертюи открыл совершенно новый способ увидеть эти траектории. Движение планет в модели Мопертюи подчинялось логике, которая не объяснялась действием простого пошагового векторного сложения сил. Он и его последователи, и в первую очередь Жозеф Луи Лагранж, доказали, что траектория движущегося тела оптимальна, и ей в соответствие ставится величина, называемая действие. Величина действия, зависящая от скорости тела, его массы и пройденного расстояния, должна быть минимальна[51]. Независимо от того, какие силы действуют на планеты, они движутся по оптимальным траекториям с минимальными энергетическими затратами. Это было сродни печати расчетливого Бога.

Все это не имело смысла для Фейнмана, когда он столкнулся с использованием метода Лагранжа для сокращения вычислений в теоретической физике. Ему это не понравилось. Для остальных, в том числе для его приятеля Велтона, формулировки Лагранжа казались простыми и полезными. Они позволяли не принимать во внимание действие множества сил, упомянутых в задаче, и сразу переходить к решению. Особенно удобен принцип Лагранжа был тем, что не требовал использования классической системы отсчета, как в ньютоновских уравнениях.

Для метода Лагранжа фактически подходила любая система координат. Но Фейнман отказывался его применять. Он говорил, что не может до конца понять реальную физику системы, пока тщательно не изучит и не рассчитает каждую силу по отдельности. По мере углубления в классическую механику задачи становились все сложнее и сложнее. Шары скатывались по наклонной плоскости, скручивались в параболоиды, а Фейнман вместо кажущегося надежным метода Лагранжа использовал остроумные методы расчетов, которые освоил еще в школьные годы.

Впервые с принципом наименьшего действия Фейнман познакомился в Фар-Рокуэй, когда после скучного урока физики учитель Абрам Бейдер подозвал Ричарда. Бейдер нарисовал на доске кривую, по форме напоминающую параболу, изобразив траекторию, по которой будет двигаться мяч, если кто-то бросит его своему другу, стоящему у окна второго этажа. Если время движения мяча неизвестно, то таких траекторий может быть

бесконечное множество: можно высоко подбросить мяч, и он опишет дугу, можно бросить почти прямо, и в этом случае мяч долетит быстрее. Но если время, за которое мяч пролетел заданное расстояние, известно, траектория может быть только одна. Бейдер велел Фейнману вычислить две знакомые величины: кинетическую энергию мяча (то есть энергию движения) и потенциальную энергию (ту, которой мяч обладает в наивысшей точке траектории, находясь в гравитационном поле). Как и все старшеклассники, изучающие физику, Фейнман привык рассматривать эти энергии вместе. Когда самолет ускоряется во время пикирования или вагонетка на американских горках скользит вниз, происходит преобразование потенциальной энергии в кинетическую, так как высота уменьшается, а скорость увеличивается. На обратном пути, если не учитывать трение, потенциальная энергия вагонетки или самолета вновь возрастает, а кинетическая уменьшается. Так или иначе, сумма кинетической и потенциальной энергии остается неизменной. Другими словами, полная энергия постоянна.

Бейдер предложил Фейнману рассмотреть менее очевидную величину, чем сумма энергий, — их разницу. Вычесть потенциальную энергию из кинетической было так же легко, как сложить их. Просто изменить знак. А вот понять физический смысл куда сложнее. Эту величину Бейдер назвал *действием*. И она постоянно изменялась. Бейдер велел Ричарду рассчитать ее значение на протяжении всего полета мяча к окну. Он также обратил внимание на то, что показалось Фейнману настоящим чудом. В каждый конкретный момент значение действия может возрастать или убывать, но, когда мяч достигнет конечной цели, его траектория всегда будет такой, при которой полное значение действия будет минимально. Для любой другой траектории, какую бы ни изображал на доске Ричард, будь то прямая линия до окна или изогнутая в виде дуги, среднее значение разницы между кинетической и потенциальной энергией было больше.

Физик не может рассуждать о принципе наименьшего действия, не принимая во внимание факт, что к летящему предмету приложена некоторая сила. Возникало ощущение, что мяч выбирает определенную траекторию, как будто заранее знает все возможные варианты. Натурфилософы стали сталкиваться с проявлением подобных принципов в науке. Сам Лагранж предложил программу вычисления орбит, по которым двигаются планеты. Поведение бильярдных шаров, сталкивающихся друг с другом, казалось, сводило действие к минимуму. Подобным образом колебались весы, когда на них клали гирьки. Похожим образом вели себя лучи света, проходя через воду или стекло.

Описывая математическую основу принципа наименьшего времени, Ферма также открыл и соответствующий закон природы[52].

Физики понимали ньютоновские методы, принципы наименьшего действия и наименьшего времени оставляли налет таинственности. «Это не совсем те категории, которыми мыслят в динамике», — заметил как-то физик Дэвид Парк. Люди предпочитают думать, что мяч, планета или луч света прокладывают себе путь в каждый момент времени, а не следуют по заранее определенной траектории. Если принять точку зрения Лагранжа, то выходит, что изгиб кривой, вдоль которой будет следовать мяч, зависит от неких высших сил. Мопертюи писал: «Не в малых деталях следует искать нам Всевышнего, а в явлениях, общность которых не приемлет исключений, а простота делает понятными каждому». Вселенная жаждет простоты. Законы Ньютона открывают нам механику, а принцип наименьшего действия наполняет ее изяществом.

Но оставался все же один непростой вопрос. И он еще долго беспокоил некоторых ученых, которые не переставали его изучать, пока Фейнман, давно уже преодолевший свою неприязнь к принципу наименьшего действия, не обнаружил ответ в квантовой механике. Дэвид Парк сформулировал этот вопрос очень ясно. Откуда мячу известно, по какой траектории двигаться?

Социализация инженера

«И пусть никому не придет в голову сказать, что инженеры необщительны, что восторг у них могут вызвать только формулы и логарифмические линейки», — эти слова можно прочитать в одном из ежегодных изданий МТИ. Некоторых сотрудников и студентов на самом деле волновал вопрос социализации этих небезызвестных нескладных людей. Одним из способов социализации, по мнению знатоков студенческой жизни, считалось чаепитие, которое рекомендовали всем первокурсникам в качестве обязательного лекарственного средства, помогающего преодолеть первоначальные страхи. («И лишь когда страхи были побеждены, когда новоиспеченные студенты уже были в состоянии удерживать чашку на блюдце во время беседы с женой профессора, только тогда такое принудительное лечение становилось ненужным».) Свои коммуникативные навыки студенты развивали во время дружеских посиделок и бесконечных танцевальных вечеров. Танцы в общежитии, рождественские танцы, весенние, танцы а-ля Монте-Карло с рулеткой, деревенские танцы с катанием на санях. Все это позволяло приглашать студенток из близлежащих женских колледжей, таких как Рэдклиф и Симмонс. Танцы под музыку оркестров Гленна Миллера и Неу Мэйхью, танцы в поле после традиционных кулачных боев, танцы в здании братства, самом желанном месте студенческого городка. И наконец, официальные танцы, которые даже Дика Фейнмана заставляли каждую неделю надевать смокинг.

Студенческие братства в МТИ, так же как и в других вузах, неукоснительно разделяли учащихся по религиозной принадлежности. Фейнман, будучи евреем, мог выбирать из двух и присоединился к обществу *Phi Beta Delta*. Штаб-квартира его располагалась на Бей-Стейт-Роад в Бостоне, в районе таунхаусов прямо напротив студенческого городка. Присоединившись к братству, студент не просто становился его членом. Он теперь вовлекался в процесс ухаживания за девушками, который начинался летом, перед учебой, в местных курилках и продолжался, как в случае Фейнмана, настойчивыми предложениями подвезти девушек до дома или переехать к нему, больше похожими на похищения. Стоило студенту вступить в братство, как он сразу из объекта, которого приглашали и обхаживали, превращался в объект оскорблений. Новые члены братства подвергались постоянным унижениям. Как-то их, и Фейнмана в том числе, отвезли в какую-то глушь, бросили там

у замерзшего озера, и им пришлось самим добираться до дома. Они соглашались участвовать в драках в грязи и ночевали на деревянном полу в заброшенном доме. И хотя Фейнман все еще опасался в душе, что его сочтут слабаком, но проявлял редкую смелость, сопротивляясь старшим товарищам. Он хватал их за ноги и пытался вырубить. Все эти обряды посвящения были проверкой характера, замешанной на мальчишеской жестокости, которую студенты лишь слегка сдерживали. Подобная дедовщина эмоционально связывала молодых людей как со своими обидчиками, так и с другими жертвами.

Входя в гостиную штаб-квартиры *Phi Beta Delta* на Бей-Стейт-Роад, студент мог задержаться в передней у большого выступающего окна, выходящего на улицу, или направиться прямиком в столовую. Именно в этой столовой Фейнман в основном и питался на протяжении четырех лет. К ужину все члены братства надевали пиджаки и галстуки и за пятнадцать минут до начала собирались в прихожей и ждали, когда раздастся звонок, приглашающий к столу. Белые колонны поддерживали высокие потолки. Лестница изящно извивалась на четыре пролета вверх. Члены братства часто перегибались через ее резные перила и что-нибудь кричали тем, кто собрался внизу у радиоприемника или телефона, расположенных в небольшой нише. Телефон — еще один способ унижать новеньких. Новые члены братства обязаны были всегда носить с собой горсть пятицентовых монет для звонков, также специальные черные блокноты, где фиксировались их неудачи. Фейнман наловчился проделывать такую штуку: он ловил какого-нибудь новичка, у которого не оказывалось мелочи, записывал это в его черный блокнот, наказывал, а через несколько минут снова ловил того же самого студента. Второй и третий этажи здания полностью отводились для занятий. Здесь студенты могли работать группами по двое и по трое. Спали на верхнем этаже, на двухъярусных кроватях, составленных близко друг к другу.

Несмотря на обязательное чаепитие, некоторые члены общества считали, что кое-кому не мешало бы научиться хорошим манерам, в том числе танцевать и уметь пригласить девушку на танцы. Какое-то время именно эта тема стала причиной основных споров между более чем тридцатью членами *Phi Beta Delta*. Спустя поколение свобода послевоенного времени обеспечила почву для появления в речи студентов таких слов, как «зубрила» и «ботаник».

В культурах более консервативных, где классовое расслоение было выражено значительно сильнее, подобные прозвища появились раньше. Британские ученые даже проводили

исследования причин высмеивания интеллектуально развитых джентльменов. В Массачусетском технологическом в 30-е годы XX века понятия «зубрила» не существовало. Ручка в кармане рубашки не означала ровным счетом ничего. Студента не подвергали насмешкам из-за хорошей учебы. Фейнману и ему подобным это было на руку. Не приспособленные к жизни в обществе, не привыкшие к тренировкам, не преуспевающие нигде, кроме науки, они рисковали стать жертвой насмешек каждый раз, когда произносили незнакомое имя. Противоположный пол приводил их в такое волнение, что коленки у них подкашивались, даже когда приходилось идти за почтой мимо сидящих на улице девушек.

Для будущих американских ученых и инженеров, многие из которых были выходцами из рабочего класса, учеба стояла превыше всего. Да и могло ли быть иначе, ведь в маленьких группках, которые просиживали почти круглосуточно в комнатах для занятий, студенты заполняли свои пестрые блокноты лекциями и конспектами, чтобы передать знания будущим поколениям. Но даже если и так, в *Phi Beta Delta* это воспринимали как проблему. Казалось, что существует прямая связь между усердной учебой и неумением танцевать. В братстве непременно хотели растормошить скучных застенчивых парней. Посещение танцев стало обязательным для всех его членов. Для тех, у кого не было партнерш, старшие товарищи приглашали девушек. В свою очередь те, кто хорошо учился, подтягивали двоечников. Дика устраивал такой расклад. В конце концов, он даже впечатлил своих самых общительных друзей тем, что несколько часов кряду протанцевал на вечере в большом бальном зале со свисающим с потолка зеркальным шаром, расположенном неподалеку от Бостон-симфони-холл.

Но самую большую поддержку Ричарду оказала Арлин Гринбаум. Благодаря ей он почувствовал уверенность в своих силах. Она по-прежнему оставалась одной из самых красивых девушек, которых он когда-либо встречал, с ямочками на круглом румяном лице. Она всегда присутствовала в его жизни, хотя и была далеко. По воскресеньям она навещала его семью в Фар-Рокуэй и учила Джоан играть на пианино. Она была из тех, кого люди обычно называют талантливыми: музыкальная и артистичная, одаренная в самом прекрасном значении этого слова. Она пела и танцевала в школьном мюзикле «Америка на пути». Фейнманы разрешили ей нарисовать попугая на дверце шкафа, что стоял внизу. Джоан воспринимала ее не иначе как старшую сестру. Часто после уроков музыки они гуляли вместе или брали велосипеды и ехали на пляж.

Арлин произвела впечатление и на товарищей Фейнмана по братству, когда начала приезжать в гости на выходные, чем избавила Ричарда от необходимости искать себе партнершу для танцев среди студенток женских колледжей или, к огорчению его друзей, среди официанток кофейни, где он частенько бывал. Может, он все же не безнадежен. Тем не менее они задавались вопросом, удастся ли Арлин сделать его более цивилизованным, прежде чем придет конец ее терпению. На зимние каникулы Ричард приехал домой в Фар-Рокуэй вместе с друзьями. Они отправились на новогоднюю вечеринку в Бронкс на метро через Бруклин, а потом на север через Манхэттен и вернулись уже рано утром тем же маршрутом. К тому времени Дик решил, что алкоголь превращает его в глупца, поэтому избегал выпивки с завидной честностью. Друзья знали, что он ничего не пил тем вечером, однако всю дорогу домой он вел себя шумно, словно пьяный, пошатывался, открывал двери вагонов, раскачивался на ремнях, свисающих с поручней, облокачивался на пассажиров и бормотал им что-то несвязное. Арлин его поведение не обрадовало. Но она уже все решила. Когда-то, еще в подростковом возрасте, он предложил обручиться. Она согласилась. Много позже Ричард узнал, что Арлин считала, что это не первое его предложение, ведь однажды он уже говорил (без задней мысли, как сам полагал), что хотел бы на ней жениться.

Она была талантлива: играла на пианино, пела, рисовала, умела поддержать разговор о литературе и искусстве. Но искусство вызывало у Фейнмана чувство протеста и никак не откликалось в его душе. Любая музыка раздражала и напрягала его. Он знал, что не лишен чувства ритма, и взял в привычку действовать на нервы своим соседям по комнате и товарищам по обучению, рассеянно постукивая пальцами, выбивая стаккато на стене или корзине для бумаг. Но мелодия и гармония ничего для него не значили — словно песок во рту. Хотя психологам и нравится порассуждать о том, что математические способности и музыкальная одаренность часто сопутствуют друг другу, у Фейнмана музыка вызывала почти болезненные ощущения. Он был не пассивно, а агрессивно некультурным. В разговорах о живописи или музыке ему слышались только термины и помпезность. Он отвергал уютное гнездышко традиций, легенд и знаний, культурное полотно, сотканное из нитей религии, американской истории, английской литературы, греческих мифов и немецкой музыки, служившее опорой многим людям. Он начинал с чистого листа. Даже мягкий, с такой нежностью адаптированный иудаизм, которого придерживались его родители, не трогал его.

Ричарда отправили учиться в воскресную школу. Он ее бросил, шокированный новыми открытиями. Оказалось, что все эти истории о царице Есфирь, Мардохее, Храме, мучениках Маккавеях, масле, что горело восемь ночей, испанской инквизиции, еврее, отправившемся в путешествие с Христофором Колумбом, вся россыпь историй и легенд, все сказки о морали, которые рассказывали еврейским детям в школах, — все это было смесью правды и вымысла. Из того, что задавали читать в школе, Фейнман практически ничего не читал. Друзья посмеивались над ним, когда при подготовке к государственному экзамену ему пришлось прочесть книгу. Ричард выбрал «Остров сокровищ». (Но он обогнал всех даже в английском, когда писал сочинение на тему «Важность науки для авиации». Он специально усложнял свои предложения, добавляя фразы и словосочетания, которые, как сам знал, были лишними, но выглядели внушительно: «Турбулентность, завихрения и воронки, образующиеся в атмосфере в хвосте самолета…»)

Русские насмешливо назвали бы Фейнмана *nekulturniy*, а европейцы отказались бы воспринимать его как тип современного ученого. Подготовка ученых в Европе давала возможность получить знания в более широких областях. В один из самых судьбоносных моментов, к которому Ричарда неумолимо вела жизнь, он будет стоять рядом с австрийским теоретиком Виктором Вейскопфом, наблюдая, как вспышками света озаряется небо над Нью-Мексико. Фейнман увидит огромный шар оранжевого огня, вспенивающий черный дым, в то время как Вейскопф будет слышать (или думать, что слышит) вальс Чайковского, звучащий по радио.

Какое невероятно банальное музыкальное сопровождение для желто-рыжей сферы, окруженной синим сиянием! Как показалось Вейскопфу, именно такой цвет он видел однажды во Франции на одном средневековом полотне кисти Маттиаса Грюневальда. И какая ирония: на той картине было изображено вознесение Христа. У Фейнмана не было подобных ассоциаций. Массачусетский технологический институт, передовая техническая школа Америки, был для него лучшим и в то же время самым неудачным местом. Учебное заведение оправдывало курс английского тем, что, возможно, однажды студентам придется писать заявку на патент. Некоторые друзья Фейнмана по братству любили французскую литературу или наименьший по значимости курс английского с его поверхностным толкованием великих книг. Но Фейнману все это было чуждо. Для него это было не более чем головная боль.

Однажды Ричард даже сжульничал. Он не желал читать то,

что задавали, и списывал ответы ежедневных тестов у своих соседей. Английский казался Фейнману набором произвольных правил орфографии и грамматики, бессмысленным запоминанием человеческих особенностей. Все это он находил невероятно бесполезным и воспринимал не иначе как пародию на знания. Почему бы профессорам английского просто не собраться вместе и не навести порядок в английском языке? Фейнман с трудом сдал английский на первом курсе. Оценки оказались даже хуже, чем по немецкому, в изучении которого он также не преуспел.

После первого года обучения дела пошли лучше. Он попытался прочесть «Фауста» Гете, но произведение показалось ему бессмысленным. Все же не без помощи товарищей по братству ему удалось написать эссе с ограниченным количеством аргументов. Он утверждал, что проблемы искусства или морали не могут быть решены и объяснены логическими доводами. Даже в сочинениях он рассуждал с точки зрения нравственности. Он прочел «О гражданской свободе» Джона Милла[53] («все, что разрушает индивидуальность, это деспотизм») и написал о деспотизме социальных норм, лжи во спасение и лицемерии, которого он так жаждал избежать. Он прочел «На кусочке мела» (On a Piece of Chalk) Томаса Гексли[54] и вместо анализа текста, которого от него ждали, выдал его имитацию. В своей работе «На кусочке пыли» (On a Piece of Dust) Фейнман рассуждал о том, как благодаря пыли образуются капли дождя, как она может накрыть целый город и разукрасить закат.

Хотя студентов МТИ обязывали изучать гуманитарные науки, представление о том, что считать таковыми, было довольно свободным. Например, на втором курсе в качестве гуманитарного предмета Фейнман выбрал описательную астрономию. Формулировка «описательная» означала, что там не будет никаких формул. А вот что касалось физики, то Фейнман записался на два курса механики (частицы, твердые тела, жидкости, высокие температуры, законы термодинамики), два курса по изучению электрических процессов (электростатика, магнетизм и т. д.) и на курс экспериментальной физики (здесь студенты должны были ставить эксперименты, демонстрируя свое понимание работы приборов). Из лекционно-лабораторных курсов он выбрал оптику (геометрическую, физическую и физиологическую, связанную с офтальмологией), электронику (приборы, термоэлектроника, фотоэмиссия). Ричард изучал рентгеновское излучение и кристаллы, строение атомов (спектры, радиоактивность и физический взгляд на периодическую таблицу Менделеева). В его расписании был специальный семинар по

новой теории ядра, расширенный теоретический курс Слейтера, семинар по квантовой теории и курс по теплоэнергетике и термодинамике, применимый к статистической механике, как классической, так и квантовой. И плюс ко всему этому он прослушал еще пять углубленных курсов, в том числе теорию относительности и курс повышенного типа по механике. А когда ему захотелось внести некоторое разнообразие в список выбранных предметов, то он записался на металлографию.

Еще была философия. В средней школе Фейнман придерживался мнения, что при получении знаний необходимо соблюдать определенную иерархию: сначала биология и химия, потом — физика и математика, а на самой вершине — философия. Его пирамида выстраивалась от конкретных узкоспециальных знаний до абстрактных и теоретических. От муравьев и листьев — к химии, атомам и уравнениям, а потом — к Богу, истине и красоте. Философы оперировали теми же понятиями, но Фейнман не заигрывал с философией. Его представление о доказательствах уже сформировалось в нечто более весомое, чем замысловатые рассуждения того же Декарта, которого читала Арлин. Декартовское доказательство существования Бога казалось ему несерьезным. Когда он начал разбираться с выражением *Я мыслю, следовательно, существую* это подозрительно напомнило ему *Я существую и поэтому думаю.* Декарт утверждал, что существование несовершенства подразумевает совершенство, что существование идеи Бога в несовершенном сознании доказывает существование Кого-то достаточно совершенного и вечного, чтобы подтвердить эту идею. Фейнман полагал, что видел очевидное заблуждение. Он знал все о несовершенстве науки: это называлось «степень приближения, аппроксимация». Он рисовал гиперболы, стремящиеся к идеальной прямой (асимптоте), но никогда не достигавшие ее. Люди, подобные Декарту, просто глупцы, сказал Ричард Арлин, упиваясь собственной дерзостью и смелостью подрывать авторитеты великих имен. Арлин ответила, что все имеет две стороны. Фейнман радостно опроверг даже это. Он взял полоску бумаги, изогнул ее, соединил два конца крест-накрест и показал лист Мёбиуса — плоскость с одной поверхностью.

С другой стороны, никто не показал Фейнману гениальность теории Декарта в доказательстве очевидного. Очевидного лишь потому, что он и его современники принимали существование Бога и свое собственное как данность. Замысел же Декарта сводился к тому, чтобы отрицать очевидное, отвергнуть определенное и начать с нуля, с того, чтобы подвергнуть сомнению основы. Декарт заявлял, что даже он сам может быть

всего лишь иллюзией или сном. И это первое сомнение. Он открыл дверь здоровому скептицизму, который для Фейнмана стал неотъемлемой частью современного научного метода. Ричард бросил читать Декарта, не добравшись до конца, где мог бы найти для себя возможность оспорить несиллогистические доказательства существования Бога, заключавшиеся в том, что совершенное создание среди всех прочих качеств, несомненно, имело бы и признаки существования.

Философия в институте только раздражала Фейнмана. Она казалась ему неумело спроектированным предприятием. Роджер Бэкон, известный тем, что ввел понятие экспериментальной науки (*scientia experimentalis*) в философию, казалось, больше рассуждал, чем экспериментировал. Его идея эксперимента больше походила на приобретение опыта, чем на тесты и измерения, которые проводили студенты XX века на занятиях в лаборатории. Современные практики осваивали физические приборы и, используя их, выполняли определенные действия, снова и снова, и записывали полученные результаты. Уильям Гилберт, менее известный исследователь магнетизма XVII века, больше импонировал Фейнману своим утверждением о том, что «в постижении тайн и открытии неизведанного больше пользы будет от конкретных экспериментов и четких доказательств, чем от предположений и философских умозаключений, которыми так любят сыпать мыслители определенного сорта». Такой подход вполне устраивал Фейнмана. Ему даже запомнились слова Гилберта о том, что Бэкон, по его мнению, рассматривал науку «с точки зрения премьер-министра». Преподаватели физики в МТИ также ничего не делали, чтобы побудить студентов прислушаться к преподавателям философии. Общий тон задавал Слейтер, для которого философия была лишь бесцельно плывущим душистым облаком из безосновательных предрассудков. Философия загоняла знания в тупик. Физика же возвращала их к жизни.

Тремя веками ранее Уильям Гарвей[55] провозгласил разницу между наукой и философией, заявив, что смотреть на вещи нужно «не с точки зрения философов, а с точки зрения самой природы». Иссечение трупов дает более основательные знания, чем иссечение предложений, заявил он, и оба лагеря признали, что между двумя взглядами на мир существует пропасть. Что произойдет, когда острый нож науки пронзит не столь живую реальность внутри атома? Пока Фейнман отрицал философию, туманные рассуждения преподавателя о «потоке сознания» натолкнули его на мысль, что он, прибегнув к самоанализу, может самостоятельно изучить свой ум.

Его погружение внутрь себя было более экспериментальным,

чем у Декарта. Ричард поднимался в свою комнату, расположенную на четвертом этаже здания братства *Phi Beta Delta*, задергивал занавески, ложился в постель и пытался наблюдать, словно со стороны, за процессом погружения в сон. Когда-то его отец уже пытался обсуждать с ним вопрос о том, что происходит, когда засыпаешь. Он любил подталкивать Ритти к тому, чтобы тот попытался выйти за пределы собственных суждений и посмотреть на все незамутненным взглядом. Отец спрашивал, как бы он объяснил это марсианину, прилетевшему в Фар-Рокуэй. Что, если марсиане вообще не спят? Что бы тогда им хотелось узнать? Каково это — засыпать? Ты просто выключаешься, как будто кто-то нажимает на кнопку? Или мысли начинают двигаться все медленнее и медленнее, пока, наконец, не останавливаются?

Тогда, в своей комнате, рассматривая дневной сон как философский эксперимент, Фейнман обнаружил, что может все глубже и глубже погружаться в свое сознание, пока не растворится во сне. Он заметил, что его мысли не столько замедлялись, сколько разбредались, не связанные логикой бодрствования. Вдруг он замечал, что его кровать парит над непонятным устройством из блоков и проводов, подвешенная на веревках. Фейнману казалось, что они не выдержат… но тут он просыпался. Он описал свои наблюдения в классной работе, облекая комментарии к ней о невозможности истинного самоанализа в форму далеко не блестящих виршей. Эти наблюдения походили на впечатления человека, попавшего в комнату кривых зеркал: «Мне интересно почему. Мне интересно, почему мне интересно. Мне интересно, почему. Мне интересно, почему я удивляюсь». После того как преподаватель зачитал его работу, включая стихи, перед аудиторией, Фейнман начал изучать свои сны. И даже здесь он оставался верным тому же принципу, что применял, когда разбирался в устройстве радиоприемников: отстраниться от самого явления и попробовать понять, как все устроено, изнутри. Он мог снова и снова видеть один и тот же сон в разных вариантах. Он ехал в вагоне метро, кинестетически ощущая все происходящее. Он чувствовал, как поезд кренился из стороны в сторону, видел цвета, слышал гул в тоннеле. Проходя по вагону, он заметил трех девушек в купальниках, которые стояли за стеклом, словно в витрине магазина. Поезд трясло, и неожиданно Ричард подумал: интересно проверить, насколько сильно он сможет сексуально возбудиться. Он оглянулся назад, но теперь вместо трех девушек там трое мужчин играли на скрипках. Он может управлять снами, понял он, но не все ему подвластно. В другом сне Арлин приехала к нему в Бостон на поезде. Они встретились, и Дик был счастлив.

Они шли по зеленой траве, сияло солнце.

— Все это похоже на сон, — говорила Арлин.

— Нет, нет, — отвечал Ричард, — это не сон.

Он настолько сильно убедил себя в присутствии Арлин, что, когда проснулся от шума соседей, не мог понять, где находится. Смятение развеялось еще до того, как он осознал, что спал в своей комнате в общежитии братства, а Арлин была дома в Нью-Йорке.

Новый взгляд Фрейда на сны как окно в мир скрытых желаний не нашел отклика у Фейнмана. Подсознание, стремящееся выпустить на свет желания, слишком пугающие и странные, чтобы принять их открыто, не интересовало Ричарда. Не рассматривал он свои сны и как зашифрованные символы, посылаемые, чтобы оградить от потрясений. В этом его убеждал его практичный ум. Он изучал свое сознание как невероятный загадочный механизм, принципы работы и возможности которого волновали его больше, чем что-либо. Он даже развил собственную элементарную теорию снов для философского эссе, скорее предположение, что в мозге есть область, отвечающая за расшифровку образов, которая и преобразует беспорядочные чувственные импульсы в знакомые очертания. Мы думаем, что видим людей и деревья, но на самом деле все это — лишь образы, в которые этот отдел мозга преобразовал цветовые пятна, воспринимаемые нашими глазами. А сны не что иное, как результат свободной работы этого отдела мозга, не связанной стереотипным мышлением бодрствования.

Однако философские достижения Фейнмана в наблюдениях за собственным сознанием нисколько не смягчили его отношения к той философии, которую в МТИ преподавали как «становление современного склада ума». В ней не хватало конкретных экспериментов и веских доказательств, но при этом было слишком много догадок, предположений и философских размышлений. Все лекции Ричард просиживал, ковыряясь маленьким сверлом в подошве своих ботинок. «*Слишком много суеты, слишком много бессмыслицы,* — думал он. — *Лучше уж пользоваться своим современным умом».*

Новейшая физика

«Теория краткости» и «теория малого» заметно сужали взгляд нескольких дюжин ученых, вынуждая говорить о физике в прошедшем времени. Львиная доля человеческого опыта лежала в рамках реальности, о которой нельзя было сказать *кратко* или *мало*. Это реальность, где теория относительности и квантовая механика казались неуместными и неестественными, где реки просто текли, облака плыли, бейсбольные мячи летели и закручивались — и все это можно было описать с помощью классических методов. Однако современной физике больше нечего предложить молодым ученым, увлеченным поисками фундаментальных знаний о структуре Вселенной. Они не могли игнорировать решительную, смелую и противоречащую всему риторику квантовой механики, как не могли не принимать во внимание и провозгласившее объединение поэтичное высказывание учителя Эйнштейна Германа Минковского[56], который писал: «Отныне время само по себе и пространство само по себе становятся пустой фикцией, и только единение их сохраняет шанс на реальность».

Впоследствии квантовая механика проникла в мировую культуру мистическим туманом. Никакой конкретики, сплошные случайности. Это была новая версия Дао[57], богатейший источник парадоксов, проницаемая мембрана между наблюдателем и его объектом, нечто сомнительное, сотрясающее подмостки науки, в которой все ясно и определенно. Однако в тот период квантовая механика была всего лишь необходимым и полезным инструментом для тщательного описания природы на мельчайших масштабах, теперь доступных для экспериментов.

Вселенная казалась такой непрерывной. Однако постоянно можно было видеть технические приспособления, принцип действия которых основан на дискретности и прерывистости. Движение зубчатых приводов и храповиков осуществлялось крошечными скачками, телеграф передавал сообщения, закодированные точками и тире. А свет, излучаемый веществом? При нормальной (комнатной) температуре он инфракрасный, а его длины волн слишком большие, чтобы быть видимыми человеческому глазу. При более высоких температурах вещество излучает более короткие световые волны, именно поэтому раскаленный в кузнице железный брусок становится красным, желтым или белым (чем горячее — тем белее). На стыке веков ученые изо всех сил пытались понять, как связаны длина волны излучения тела и температура излучающего тела. Если считать,

что тепло обусловлено движением молекул, то, возможно, именно эта определенная излучаемая энергия и вызвана внутренними колебаниями, вибрацией с собственной резонансной частотой по аналогии со скрипичной струной. Немецкий физик Макс Планк развил эту идею до ее логичного завершения и заявил в 1900 году о необходимости серьезно пересмотреть традиционный взгляд на энергию. Его уравнения были верны только в том случае, если предположить, что излучение происходит лишь в виде отдельных дискретных порций, названных им квантами. Он рассчитал величину новой константы, наименьшей доли энергии, кратной этим порциям. Это была единица измерения, обозначающая не энергию, но произведение энергии и времени[58], — величина, названная действием.

Пять лет спустя Эйнштейн использовал постоянную Планка, чтобы объяснить другую загадку — фотоэлектрический эффект, проявляющийся в том, что свет, поглощенный металлом, выбивал электроны и приводил к появлению электрического тока. Основываясь на том, как длина волны и сила тока связаны между собой, он пришел к выводу, что свет при взаимодействии с электронами ведет себя не как непрерывная волна, а как дискретная последовательность порций излучения[59].

Это было сомнительное утверждение. Большинство физиков находили специальную теорию относительности Эйнштейна, опубликованную в том же году, куда более приемлемой. Но в 1913 году молодой датчанин Нильс Бор, работавший в лаборатории Эрнеста Резерфорда в Манчестере, предложил новую модель строения атома, в основу которой легло представление о квантах энергии. В модели Резерфорда атом представляет собой Солнечную систему в миниатюре: электроны движутся по орбитам вокруг ядер. Без квантовой теории физикам пришлось бы признать, что электроны постепенно по спирали должны приближаться к центру атома, непрерывно излучая и теряя свою энергию. В результате произошло бы разрушение атома как такового. Бор же предложил модель атома, в которой электроны могли находиться только на заданных орбитах, предписанных постоянной Планка. Когда электрон поглощал квант света, он перескакивал на более высокую орбиту. Вскоре этот процесс станет известен всем как квантовый скачок. Когда электрон переходил на более низкую орбиту, он излучал квант света определенной частоты. Все остальное запрещено. Что происходит с электроном, когда он находится между орбитами? Об этом лучше не спрашивать[60].

В основе квантовой механики как раз и лежало

представление об этом новом виде неоднородности, новом научном понимании энергии. Оставалось только создать теорию и математическую конструкцию, которая обеспечила бы идее жизнеспособность. Об интуиции можно забыть. Для вероятности и причин появились новые определения. Намного позже, когда большинство физиков, стоявших у истоков квантовой механики, уже покинуло этот мир, Дирак, худощавый, с волосами, белыми, как мел, с тонкой дорожкой седых усов, превратил рождение квантовой механики в маленькую легенду. К тому времени многие ученые и писатели уже делали это, но редко кому удавалось облечь все в такую смелую, незамутненную и простую форму. Были герои и почти герои, те, кто подошел к самому краю, и те, у кого хватило смелости и веры в уравнения, чтобы пойти дальше.

Моралите[61] Дирака начиналось с Лоренца. Этот голландский ученый понял, что свет излучают колеблющиеся заряды внутри атомов, и в результате произведенных им преобразований алгебры пространства и времени получил странный результат, из которого следовало, что материя сжимается на скорости, близкой к скорости света[62]. Дирак говорил: «Лоренц преуспел в выводе всех основных уравнений, необходимых для того, чтобы установить относительность времени и пространства, но не смог сделать финальный шаг». Страх сковывал его.

Затем на сцене появлялся смельчак Эйнштейн. Он был уже не так сдержан. Он пошел дальше и заявил, что время и пространство взаимосвязаны.

Гейзенберг начал развивать квантовую механику с «блестящей идеи», которая заключается в том, что «нужно попытаться создать теорию, взяв за основу данные, полученные в результате экспериментов, а не так, как делали раньше, исходя из модели атома, включающей в себя много величин, которые невозможно вычислить». Это не что иное как новая философия — так сказал об этом Дирак.

(Примечательно, что в нехарактерном для Дирака высказывании не упоминался Бор, чья модель атома водорода, созданная в 1913 году, как раз и представляла старую философию. Электроны вращаются вокруг ядер? В записях Гейзенберг называл это бессмыслицей: «Все мои усилия направлены на то, чтобы окончательно разрушить идею существования орбит». Можно наблюдать свет разной частоты, излучаемый атомом. Но невозможно увидеть электроны, вращающиеся по миниатюрным планетарным орбитам, так же как нельзя увидеть и структуру атома.)

Шел 1925 год. Гейзенберг решил развивать свою теорию, к чему бы она ни привела, а привела она к результатам столь непонятным и удивительным, что он не на шутку испугался. Казалось, величины, полученные Гейзенбергом, их численные значения в матричном выражении, нарушали закон коммутативности умножения, утверждающий, что a, умноженное на b, равняется b, умноженному на a. Они имели серьезные последствия. Из уравнений Гейзенберга, выраженных в такой форме, следовало, что нельзя с определенной точностью определить импульс и положение частицы[63]. Нужно было вводить понятие неопределенности. Рукопись Гейзенберга попала в руки Дираку. Он изучил ее. «Видите ли, — сказал он, — у меня было преимущество перед Гейзенбергом. Я не боялся».

Тем временем Шрёдингер пошел другим путем. Двумя годами ранее его поразила идея де Бройля о том, что электроны, эти маленькие точечные носители заряда, на самом деле не являются ни частицами, ни волнами, а представляют собой некую комбинацию того и другого. Шрёдингер поставил перед собой цель вывести волновое уравнение, «очень стройное и красивое уравнение», которое бы позволяло вычислить поведение электронов под воздействием полей, когда они находятся внутри атома.

Он проверил уравнение, рассчитав оптический спектр, излучаемый атомом водорода. Результат — провал. Эксперимент шел вразрез с теорией. В конце концов Шрёдингер обнаружил, что, если не учитывать эффект относительности (релятивистские эффекты), его теория гораздо больше будет соответствовать результатам наблюдений. И тогда он опубликовал эту менее амбициозную версию своего уравнения.

Опасения снова торжествовали победу. «Шрёдингер был слишком робок», — говорил Дирак. Клейн[64] и Гордон[65] копнули глубже, дополнили теорию и опубликовали свои открытия. Они оказались «достаточно смелыми», их не слишком волновали экспериментальные результаты, и именно поэтому первое релятивистское волновое уравнение носит их имена.

Тем не менее результаты даже очень тщательно проведенных расчетов уравнения Клейна — Гордона не соответствовали результатам экспериментов. В нем было что-то такое, что казалось Дираку болезненно нелогичным. Из уравнения следовало, что вероятность некоторых событий должна быть отрицательной, то есть меньше нуля. «Отрицательные вероятности, — отметил Дирак, — совершенно абсурдны».

Дираку теперь оставалось лишь вывести уравнение электрона. Или лучше сказать «придумать», «открыть»? И оно

выглядело потрясающе красивым в своей абсолютной простоте и неизбежности, к которой с таким трепетом относились физики. Это успех. Уравнение совершенно точно предсказало значение (а для физиков это значит «объясняло») недавно открытой величины, которую назвали «спин», и спектр водорода. Это уравнение стало для Дирака достижением всей жизни. Шел 1927 год. «Так начиналась квантовая механика», — провозгласил Дирак.

Это было время, когда в физику пришли практически мальчишки (*Knabenphysik* — нем.). Когда они начинали, Гейзенбергу было двадцать три, а Дираку — двадцать два. Шрёдингер среди них казался уже тридцатисемилетним старичком, но, как заметил один историк, свои открытия он сделал «в период позднего эротического подъема». Новая «физика от мальчишек» началась в МТИ весной 1936 года. Дик Фейнман и Ти Эй Велтон жаждали проложить себе путь в квантовую теорию, но по этому зарождающемуся, еще более непонятному, чем теория относительности, направлению еще не было отдельного курса. Руководствуясь лишь отдельными публикациями, они занялись самообразованием. Их сотрудничество началось в комнате для занятий общежития братства на Бей-Стейт-Роад и продолжалось даже после весенней сессии. Фейнман вернулся домой в Фар-Рокуэй, Велтон — в Саратога-Спрингс. Они пересылали друг другу по почте блокнот и за считаные месяцы законспектировали практически все, что касалось революционных открытий 1925–1927 годов.

23 июля Велтон писал:

«Привет, Р. <…> Я видел твое уравнение:

$$[(P_\mu - K_\mu)g^{\mu}\nu(P_\mu - K\nu) + m^2c^2]\psi = 0».$$

Это было релятивистское уравнение Клейна — Гордона. Фейнман переосмыслил его, совершенно верно приняв во внимание тенденцию увеличения массы вещества на скорости, близкой к скорости света. Это уже не обычная квантовая механика, а релятивистская. Велтон пришел в восторг. «Почему ты не применил свое уравнение к атому водорода и не посмотрел, что получится?» — спрашивал он. Вслед за Шрёдингером, который сделал это десять лет назад, они провели вычисления и поняли, что уравнение неверно, по крайней мере, в том, что касалось точных данных.

«Вот, смотри! Как ведет себя электрон в гравитационном поле тяжелых частиц? Конечно же, электрон что-то привнесет в это

поле…»

«Как думаешь, можно ли квантовать энергию? Чем больше я об этом размышляю, тем интереснее становится. Я хочу попробовать…»

«Вероятно, я получу уравнение, которое все равно не смогу решить», — добавил Велтон с сожалением. (Когда пришла очередь Фейнмана писать в блокноте, он чиркнул на полях: «Точно!») Велтон далее писал: «Вот в этом и состоит проблема квантовой механики. Довольно легко составить уравнение для самых разных задач, но чтобы решить, потребуется ум, в два раза более мощный, чем дифференциальный анализатор»[66].

Общая теория относительности, которой к тому моменту едва исполнилось десять лет, объединила гравитацию и пространство в единое целое. Гравитация приводила к искривлению пространства-времени. Велтону хотелось большего. Почему бы не связать электромагнетизм с пространственно-временной геометрией? «Теперь ты понимаешь, что я имею в виду, когда говорю, что хочу сделать электрические явления следствием метрики пространства, таким же образом, как гравитационные явления. Интересно, не может ли твое уравнение расширить аффинную геометрию Эддингтона…» В ответ на это Ричард написал: «Я пробовал. Пока не получилось».

Фейнман также попытался изобрести операционное исчисление, написав правила дифференцирования и интегрирования величин, которые не соотносятся между собой. Правила должны зависеть от порядка величин и матричных представлений сил в пространстве и времени. «Теперь, я думаю, я ошибся, заменив интегрирование по частям, — писал Ричард. — Я метался между правильным и неправильным».

«Теперь я *знаю,* что прав… В моей теории гораздо больше “фундаментальных” постоянных, чем в любой другой».

Так они и продолжали. «Ура! После трех недель работы… Я наконец нашел простое доказательство, — писал Фейнман. — Но не буду о нем. Единственное, почему я хотел это сделать — потому что не получалось. И еще потому, что чувствовал, что An и их производные связаны сильнее, что я не учел раньше… Может быть, я включу в метрику электричество! Спокойной ночи. Мне нужно уже идти спать».

Уравнения приходили в голову быстро, и Фейнман записывал их карандашом в блокноте. Иногда он называл их законами. Совершенствуя технику вычислений, Ричард постоянно задавался вопросом, что именно является основополагающим, а что вторично, какие законы основные, а какие — производные. В перевернутом с ног на голову мире зарождающейся квантовой

механики ничего нельзя считать очевидным. Гейзенберг и Шрёдингер шли к одной и той же физике совершенно разными путями. Каждый из них имел дело с отвлеченными понятиями и отвергал наглядность. Даже волны Шрёдингера шли вразрез с общепринятым представлением. Это не волны материи или энергии, а волны вероятности, пронзающей математическое пространство. Часто само это пространство напоминало пространство классической физики, в котором координаты определяют положение электрона. Но физики предпочли использовать импульсное пространство (обозначаемое Pα) — систему координат, в которой определяется импульс частицы, а не ее положение, или, другими словами, основанную на направлении волнового фронта, а не на положении конкретной точки внутри него. В квантовой механике принцип неопределенности означает, что положение и импульс частицы невозможно определить одновременно. В августе после окончания второго курса Фейнман начал работать в системе обобщенных координат (Qα), менее удобной с точки зрения волн, но более поддающейся наглядному представлению.

«Pα ничуть не более основательно, чем Qα, и наоборот. Почему же тогда Pα играет такую важную роль в теории, и почему бы мне не попробовать вместо нее использовать Qα для некоторых обобщающих уравнений…» — писал Фейнман. И действительно, он доказал, что привычный подход можно было напрямую вывести теоретически, если производить вычисления в пространстве импульсов.

В то же время и Велтон, и Фейнман были озабочены своим здоровьем. Велтон по непонятным причинам мог внезапно заснуть прямо на стуле и во время летних каникул проходил курс лечения. Он спал днем, принимал минеральные ванны и получал дозы облучения ртутно-кварцевыми лампами. Фейнман после окончания второго курса испытывал что-то похожее на нервное истощение. Сначала ему рекомендовали постельный режим на все лето. «Если б мне такое сказали, я бы с ума сошел, — писал Велтон в их блокноте. — В любом случае, надеюсь, осенью к началу учебы ты поправишься. Не забывай, квантовую механику нам будет преподавать не кто-нибудь, а профессор Морс собственной персоной. Я жду не дождусь». («Я тоже», — ответил Ричард.)

Им страстно хотелось быть на переднем крае физики. Они начали читать Physical Review. (Фейнман обратил внимание на то, что удивительно большое количество статей прислали из Принстона.) Они надеялись восполнить пробелы в своих знаниях о новейших открытиях и двигаться дальше. Велтон

работал над волновым тензорным исчислением, Фейнман пытался применить тензорное исчисление в электромеханике. И только когда потратили на это несколько месяцев, они начали понимать, что журналы — далеко не лучшие *Baedekers*[67]. Большинство работ утрачивали актуальность к тому моменту, как выходил номер, в котором они были опубликованы. Основную часть статей составляли переводы стандартных результатов на профессиональный язык. Новости иногда прорывались в Physical Review, хотя и с опозданием. Однако второкурсникам особенно и выбирать-то было не из чего, чтобы начать придираться.

Вторую часть курса теоретической физики преподавал Морс. Он не мог не заметить двух второкурсников, задававших осмысленные вопросы по квантовой механике. Осенью 1937 года они вместе со старшекурсниками посещали лекции Морса раз в неделю и начали пытаться вписывать свои неподтвержденные теории в контекст, привычный для физиков. Они, наконец, прочли «Принципы квантовой механики»[68] — библию Дирака, написанную в 1935 году. Морс поручил им рассчитывать характеристики различных атомов, используя разработанный им метод. Метод позволял рассчитывать энергии в зависимости от параметров уравнений, известных как радиальные функции водорода (Фейнман настаивал, что его следует именовать водородной функцией). Но при этом требовалось делать более точные, тщательно выполненные арифметические вычисления, чем те, с которыми они когда-либо сталкивались. К счастью, у них были калькуляторы. Не те старые, ручные развалюхи, а новые, электронные, которые могли не только складывать, умножать и вычитать, но и делить, пусть и не так быстро. Они вводили числовые значения, поворачивая металлический диск, а потом запускали электромотор и смотрели, как диск вращается и цифры на циферблате стремятся к нулю. Потом раздавался звонок, и его клацающий, динькающий звук часами отдавался в ушах.

В свободное время Фейнман и Велтон с помощью этого калькулятора зарабатывали деньги в агентстве национальной молодежной организации. Они рассчитывали параметры атомных решеток кристаллов для профессора, который хотел опубликовать справочные таблицы. Они даже разработали метод, который позволял производить вычисления быстрее. А когда решили, что довели свою систему до совершенства, то рассчитали, сколько времени займет вся работа. Получалось семь лет. Они убедили профессора отказаться от этого проекта.

Мастера

Массачусетский технологический оставался по-прежнему техническим институтом, демонстрирующим лучшие традиции профессионального мастерства. Возможности станков, аппаратов, двигателей и магнитов представлялись безграничными, хотя еще каких-нибудь пять лет назад, с наступлением эры электронной миниатюризации, казалось, что у всего есть предел. Институтские лаборатории, технические классы, мастерские предоставляли студентам прекрасные условия для проведения экспериментов. Лабораторный курс у Фейнмана вел Гарольд Эджертон, изобретатель и энтузиаст, вскоре прославившийся своими снимками предметов, движущихся на большой скорости, сделанных с помощью стробоскопа. Это устройство позволяло выставлять интервалы между вспышками света точнее, чем любой механический затвор. Эджертон расширил представление человека о скорости так же, как микроскопы и телескопы изменили представление о маленьком и большом. В своей мастерской в МТИ он делал фотоснимки пуль, пронзающих яблоки и игральные карты, порхающих колибри, капель проливающегося молока, мячиков для гольфа, деформирующихся при ударе клюшкой и принимающих форму яйца, что невозможно разглядеть невооруженным глазом. Стробоскоп показал, как много скрыто от человеческого взгляда. «Я просто взял сияние Господа Всемогущего и поместил его в коробку», — говорил сам Эджертон. Он и его коллеги — живое воплощение тех идеальных ученых, которые всю жизнь остаются детьми и выискивают самые невероятные способы разобрать мир на детали, чтобы посмотреть, как все устроено.

Таково было техническое образование в Америке. В Германии же молодые теоретики проводили время в походах по альпийским озерам, исполняли камерную музыку и вели философские споры с непринужденностью, навеянной волшебной красотой гор. Гейзенберг, чье имя станет символом самой знаменитой неопределенности XX века, будучи молодым студентом, восхищался своей «абсолютной уверенностью» в платоновском устройстве мира. Мелодия чаконы ре-минор Баха, залитый лунным светом пейзаж, проступающий сквозь туман, тайное устройство атома в пространстве и времени — все казалось проявлением единого целого. Гейзенберг примкнул к молодежному движению, возникшему в Мюнхене после тягот Первой мировой войны, и мысли возникали сами собой. Важнее ли судьба Германии судьбы остального мира? Способен ли будет

человек когда-нибудь проникнуть в атом настолько глубоко, чтобы понять, почему атом углерода взаимодействует именно с двумя, а не с тремя атомами кислорода? Имеет ли молодежь право жить согласно собственным ценностям? Для таких студентов философия важнее физики. Однако поиск смысла и цели совершенно естественно приводил их в мир атомов.

Студентов, обучающихся в лабораториях и мастерских МТИ, поиски смысла происходящего не волновали. Здесь проходила проверку на прочность их мужественность. Они учились работать на станках и уверенно и авторитетно держаться — как мастера в цехах. Фейнман тоже хотел овладеть мастерством, но чувствовал себя неудачником среди этих профессионалов, так ловко управляющихся с инструментами. Они говорили как представители рабочего класса и заправляли галстуки в ремни, чтобы они не попали случайно в зажим станка. Фейнман и сам пытался обрабатывать металлические изделия на станке, но у него не получалось. Пластины, отрезанные им, были неровными, а отверстия в них — слишком большими. Изготовленные им диски шатались. Но, тем не менее, Фейнман понимал, как работают эти устройства, и радовался маленьким успехам. Как-то оператор, который часто подтрунивал над ним, пытался центрировать тяжелый латунный диск на станке. Он крутил его на установочном шаблоне, а резец дергался при каждом повороте несбалансированного диска. Оператор никак не мог сообразить, как отцентрировать диск. Он пытался отметить мелом место, где диск отклонялся больше всего, но перекос был слишком большим, и у него никак не получалось попасть в нужную точку. У Фейнмана появилась идея. Он взял мел и стал держать его чуть выше диска, слегка двигая рукой вверх и вниз в такт трясущемуся резцу. Отклонение диска было незаметным, но ритм ощущался. Ричарду следовало бы спросить оператора, в каком направлении двигался резец, когда выступ был сверху, но он и так всё рассчитал правильно. Он наблюдал за резцом, поймал ритм и сделал отметку. Удар деревянным молотком по нужному месту — и диск был выправлен.

Технические приборы и приспособления экспериментальной физики, наконец, начали понемногу выходить за рамки компетенции нескольких человек в мастерской. В начале 1930-х годов в Риме в институте на улице Паниперна Энрико Ферми собрал из куска алюминиевой трубки длиной не больше тюбика губной помады собственный миниатюрный счетчик излучения. Он методично подвергал элемент за элементом облучению нейтронами, излучаемыми радиоактивным радоном. Именно он получил ряд новых радиоактивных изотопов — элементов,

никогда ранее не встречавшихся в природе, период полураспада которых был настолько мал, что Ферми приходилось нестись по коридору, чтобы успеть проверить их, прежде чем произойдет распад.

Он обнаружил новый элемент, который был тяжелее всех ранее известных в природе. Вручную он устанавливал свинцовые перегородки, препятствующие потоку нейтронов, а потом, в момент таинственного вдохновения, попробовал заменить свинец на парафин. Что-то, входившее в состав парафина (возможно, водород?), замедляло нейтроны. Неожиданно выяснилось, что медленные нейтроны оказывали на некоторые из бомбардируемых элементов значительно более заметное влияние. Так как нейтроны были электрически нейтральными, они могли свободно перемещаться вблизи электрических зарядов атома-мишени (электронов и ядер). Так как их скорости едва превышали скорость отбитого бейсбольного мяча, у них было больше времени на то, чтобы разрушить ядро атома. Пытаясь осмыслить полученные результаты, Ферми представлял себе, что этот процесс чем-то аналогичен диффузионному, когда аромат духов проникает в неподвижный воздух помещения. Он представлял путь, который прокладывают нейтроны через парафин, сталкиваясь один, два, три, сотню раз с атомами водорода, теряя энергию при каждом столкновении, отскакивая в разные стороны, подчиняясь законам вероятности.

До 1932 года никто не знал о существовании нейтронов — не имеющих электрического заряда частиц, входящих в состав ядра атома. Физики предполагали, что ядро атома состоит из отрицательно и положительно заряженных частиц: электронов и протонов. По результатам, полученным при проведении химических и электрических экспериментов, мало что можно было сказать о природе ядра. Физикам было известно лишь то, что в ядре сосредоточена основная часть массы атома и что оно обладает положительным зарядом, необходимым, чтобы скомпенсировать заряд внешних электронов, свободно перемещающихся, или вращающихся на орбитах, или формирующих электронное облако, которые, казалось, играют какую-то роль в химических процессах. Только бомбардируя вещества элементарными частицами и измеряя величину их отклонения, ученые начали пробираться внутрь ядра и даже предпринимать попытки его расщепить. К весне 1938 года не десятки, а уже сотни преподавателей физики и студентов имели представление о тех идеях, развитие которых в дальнейшем приведет к созданию новых тяжелых элементов и потенциальному высвобождению ядерной энергии[69]. В МТИ решили организовать

семинар для выпускников по теории строения ядра, который должен был вести Морс и его коллеги.

Фейнман и Велтон, студенты младших курсов, вошли в аудиторию, заполненную изнывающими от нетерпения выпускниками. Заметив их, Морс поинтересовался, намерены ли они зарегистрироваться. Фейнман боялся, что их не допустят, но, в конце концов, ответил, что да, намерен. Морс вздохнул с облегчением. Когда Фейнман и Велтон зарегистрировались, общее количество официально записавшихся на курс достигло трех человек. Остальные желали быть только вольными слушателями. Как и квантовая механика, это была трудная новая теория. Не было никаких учебников. Любой, кто хотел изучать ядерную физику в 1938 году, мог рассчитывать только на один основной текст — серию из трех длинных статей Ханса Бете[70], молодого немецкого ученого, работавшего в Корнеллском университете. Напечатаны они были в журнале Reviews of Modern Physics. В этой работе Бете основательно пересмотрел порядок изложения новой дисциплины. Он начал с основ: заряд, масса, энергия, размер и спин простейших ядерных частиц. Затем перешел к самому простому составному ядру — дейтрону, ядру дейтерия — изотопа водорода, в котором единственной протон связан с единственным нейтроном. Планомерно подошел к силам, которые начинали проявляться в самых тяжелых из известных атомов.

Постигая новейшие области физики, Фейнман не упускал возможности решать классические задачи, изучая явления, которые можно визуализировать. Его заинтересовало рассеяние солнечного света облаками. *Рассеяние*. Именно это слово начинало занимать центральное место в лексике физиков. Как и многие научные термины, заимствованные из разговорного языка, это слово было обманчиво близко к своему обычному значению.

Частицы, находящиеся в атмосфере, рассеивали лучи света почти так же, как садовник разбрасывал семена, а океан разгонял дрейфующие бревна. До наступления квантовой эры физики могли использовать это слово, не становясь при описании того или иного явления приверженцами волнового или корпускулярного подхода. Свет просто рассеивался, проходя через определенную среду, и при этом полностью или частично изменял свое направление. Рассеяние волн предполагало, что имеет место общая диффузия, рандомизация[71] исходного направления движения света. Небо нам кажется голубым, потому что рассеяние молекулами атмосферы световых волн с длиной волны, которую мы воспринимаем как голубой цвет, сильнее, чем остальных[72]. Кажется, что небо голубое повсюду. Рассеяние

частиц можно мысленно представить как столкновения и отскоки бильярдных шаров. Одна частица также может рассеивать другую. В действительности рассеяние лишь некоторых частиц вскоре будет изучено во время выдающегося эксперимента современной физики.

Тот факт, что облака рассеивают солнечный свет, был очевиден. При любых колебаниях капельки воды, присутствующие в атмосфере, должны мерцать за счет того, что свет, достигший их поверхности, отражается и преломляется, а прохождение света от одной капли к другой должно быть сродни диффузии. При хорошо организованной системе образования в области науки возникает иллюзия, что в тех случаях, когда задачу легко поставить и сформулировать математически, ее легко и решить. Фейнману решение задачи рассеяния света облаками помогло развеять иллюзии. Она казалась такой же простой, как любая из сотен задач, приведенных в учебниках. Но, как в детском «почему», она затрагивала множество фундаментальных проблем. Она всего лишь на шаг отступала от вопроса, почему мы вообще видим облака. Молекулы воды идеально рассеивают свет, находясь в парообразном состоянии, но, когда пар переходит в жидкое состояние (конденсируется) и свет проходит через воду, вода становится значительно более прозрачной по сравнению с паром, потому что расстояние между молекулами сокращается и их электрические поля резонируют друг с другом, уменьшая способность к рассеянию. Фейнман попытался также понять, как меняется направление рассеянного света, и обнаружил нечто, во что сначала сам не мог поверить. Свет, прошедший сквозь облака, столкнувшийся со множеством частиц, фактически сохранял некоторую память о своем исходном направлении. Однажды туманным днем в Бостоне Ричард смотрел на здание, стоящее вдалеке, на другом берегу, и увидел его контур, исчезающий, но все же довольно четкий, менее контрастный, чем само здание, и несфокусированный. И тогда он подумал: все-таки математика работает.

Фейнман, конечно, еврей

В своих научных исследованиях Фейнман достиг границ, за которыми начиналось непознанное. Его расчеты в области рассеяния света сразу же нашли применение в решении проблемы, которая давно беспокоила одного из его профессоров — Мануэля Вальярту. Проблема была актуальна и касалась космических лучей. Не только ученых, но и общественность беспокоили эти лучи высокой энергии неизвестного происхождения, пронизывающие пространство и оставлявшие следы из электрически заряженных частиц. Именно ионизация помогла их обнаружить. Еще незадолго до начала века ученые выяснили, что сама по себе атмосфера не должна проводить электричество. Теперь же ученые стали устанавливать приборы и оборудование для обнаружения лучей на кораблях, самолетах и воздушных шарах и пытаться зафиксировать их по всему миру, но более всего в окрестностях Пасадены в Калифорнии, где Роберт Милликен и Карл Андерсон основали Калифорнийский технологический институт, ставший центром изучения космических лучей. Позже выяснилось, что сам термин был обобщающим и распространялся на множество частиц, имевших разные источники. В 1930-х годах исследования сводились к попыткам понять, что во Вселенной может быть источником этого излучения, что определяет время излучения, а также направление излучения по отношению к Земле. Вальярта озадачивало то обстоятельство, что эти лучи могут рассеиваться магнитными полями галактических звезд, подобно тому, как облака рассеивают солнечный свет. Независимо от того, происходили ли космические лучи изнутри или вне галактики, должен ли эффект рассеяния смещать их видимое направление к Млечному Пути или от него? Расчеты Фейнмана давали отрицательный ответ на этот вопрос. Суммарный эффект от рассеяния был равен нулю. Если космические лучи, как казалось, и приходили со всех сторон, то это происходило не потому, что влияние звезд скрывало их исходное направление. Фейнман и Вальярта совместно подготовили статью для Physical Review. Это была первая научная публикация Фейнмана. Конечно, саму идею нельзя было назвать принципиально новой, но из ее обоснования вытекала провокационная и смелая мысль: вероятность того, что частица вылетает из скопления рассеивающего вещества в определенном направлении, должна быть равна вероятности того, что античастица будет двигаться в обратном направлении. С точки зрения античастиц время шло вспять.

Вальярта раскрыл Фейнману секрет публикации работ, написанных в соавторстве учителя и ученика: имя ученого, имевшего более высокий статус, стояло первым. Несколько лет спустя Фейнман отыгрался. Гейзенберг завершил свою книгу о космических лучах словами «эффект подобного рода, с точки зрения Вальярты и Фейнмана, нельзя было прогнозировать». Когда они снова встретились, Ричард торжествующе спросил, видел ли Вальярта книгу Гейзенберга. Тот понимал, чем была вызвана радость. «Да, да, — ответил Вальярта. — Вы — последнее слово в изучении космических лучей».

Фейнман жаждал новых задач — любых задач. Встречая людей в здании факультета физики, он всегда спрашивал, над чем они работают. И им скоро становилось понятно, что это не праздное формальное любопытство. Фейнмана интересовали детали. Однажды он поймал однокурсника Монарха Катлера. Тот был в отчаянии. Для своей дипломной работы Катлер выбрал тему, в основе которой лежало важное открытие, сделанное в 1938 году двумя профессорами в оптической лаборатории.

Они обнаружили, что изменяется характер преломления и отражения света линзами, на поверхности которых солевые испарения сформировали тончайшие пленки толщиной всего в несколько атомных слоев. Такие покрытия позволяли устранить нежелательные блики с линз камер и телескопов. Катлер должен был найти способ расчета, позволяющий определить, какой эффект окажет наложение различных тонких пленок друг на друга. Также его преподавателей интересовала возможность создания оптически абсолютно чистых цветных фильтров, которые пропускали бы световые волны лишь определенной длины. Катлер был в замешательстве.

Для решения этой задачи достаточно знать классическую оптику, и углубляться в квантовые эффекты не требовалось. Однако никто раньше не анализировал поведение света, проходящего через ряд прозрачных пленок толщиной менее длины волны падающего излучения. Катлер сказал Фейнману, что не нашел никакой литературы по вопросу и просто не знает, с чего начать. Через несколько дней Ричард пришел к Катлеру с решением — формулой, которая позволяла рассчитать суммарный эффект, возникающий в результате бесконечного ряда отражений от внутренних поверхностей покрытий. Он показал, как сочетания преломлений и отражений повлияют на фазу света, изменяя его цвет. Используя теорию Фейнмана и проведя много часов за калькулятором Маршана[73], Катлер также нашел способ, позволяющий изготовить цветные фильтры, о которых говорил его профессор[74].

Развитие теории отражения света многослойными пленками для Фейнмана не слишком сильно отличалось от решения задач, с которыми он сталкивался в таком теперь уже далеком прошлом, когда входил в состав математической команды и участвовал в школьных математических олимпиадах в Фар-Рокуэй. Он мог увидеть или почувствовать, как потоки световых лучей, отражающиеся туда-обратно двумя поверхностями, а потом двумя следующими поверхностями и так далее до бесконечности, пересекаются между собой, и у него в голове был грандиозный запас формул, которые он мог применить в поиске решений. Даже когда ему было четырнадцать, Ричард манипулировал рядами дробей, словно пианист, тренирующийся в нотной азбуке. Теперь он интуитивно понимал, как соотнести формулы и физические явления, улавливая ритм пространства или сил, которые обозначали эти символы. Когда он учился на выпускном курсе, факультет математики пригласил Ричарда стать одним из трех членов команды и принять участие в самом престижном и сложном государственном математическом конкурсе — олимпиаде им. Уильяма Лоуэлла Патнема, проводившейся тогда во второй раз. (Пятеро лучших студентов получали звание членов научного общества Патнема, а победителю присуждалась стипендия на обучение в Гарварде.) Задание включало сложные вычислительные упражнения и алгебраические действия, и никто не ожидал, что участники смогут выполнить его целиком за отведенное время. В отдельные годы средний показатель был равен нулю: больше половины участников не справлялись с задачами. Товарищ Фейнмана по студенческому братству был удивлен, когда Ричард вернулся довольно рано, ведь олимпиада все еще продолжалась. Позднее Фейнман узнал, насколько поражена была комиссия разрывом между его результатами и четырьмя ближайшими. Из Гарварда известили о стипендии, но Фейнман ответил, что уже выбрал другой университет — Принстон.

Сначала он хотел остаться в МТИ. Он полагал, что никакой другой вуз Америки не может соперничать с ним, и сообщил об этом декану своего факультета. Слейтеру приходилось такое слышать и раньше от верных студентов, мир которых ограничивался только Бостоном и МТИ, или Бронксом и МТИ, или Флэтбушем и институтом. Он категорично заявил Фейнману, что его не возьмут в аспирантуру для его же блага.

Слейтер и Морс обратились напрямую к своим коллегам из Принстона в январе 1939 года, сообщив, что Фейнман был совершенно особенным. Один из них сказал, что его оценки были «почти невероятны», другой — что он был «лучшим студентом на

физическом факультете, по крайней мере за последние пять лет». В Принстоне, когда рассматривался вопрос о допуске Фейнмана к экзаменам, фраза «неограненный алмаз» звучала чаще других.

В комиссии понимали необходимость принимать соискателей, одаренных в одной из областей, но никогда раньше не встречали кого-то со столь низким баллом по истории и английскому. По истории Фейнман был в пятерке худших, по литературе — в шестерке худших, а тест по изобразительному искусству лучше него написали 93 % учащихся. Но зато таких невероятных оценок по физике и математике комиссии раньше видеть не доводилось. По правде говоря, оценки по физике были безупречны.

Но при зачислении в Принстон возникла другая проблема, и декан Смит довольно четко обозначил ее Морсу. «Один вопрос всегда встает в отношении тех, кто интересуется теоретической физикой, — писал Смит. — Фейнман еврей? Мы ничего не имеем против евреев, но вынуждены поддерживать количество учащихся-евреев на факультете на разумно низком уровне в связи со сложностью их трудоустройства».

К марту из Принстона не было вестей, и Слейтер решил снова написать Смиту коллегиально: «Дорогой Гарри <…> определенно это лучший студент, какой у нас был за последние годы <…> лучший и в плане учебы, и в плане личных качеств…» Рекомендательное письмо было официальным и убедительным, но от руки Слейтер сделал приписку, которой не было в копии: «Фейнман, конечно, еврей…» Он хотел убедить Смита, что смягчающих обстоятельств было достаточно: «…но в сравнении с Каннером и Эйзенбадом он на порядок более привлекателен как личность. Мы не пытаемся избавиться от него. Наоборот, нам бы не хотелось терять такого студента, и втайне мы надеемся, что вы не примете его. Но, кажется, он сам решил пойти в Принстон. И я гарантирую: он вам понравится».

Морс также написал, что Фейнман «ни внешне, ни манерами не походит на еврея, и хочется верить, что это не доставит никому никаких неудобств».

На пороге Второй мировой войны формально установленный вузовский антисемитизм оставался проблемой в американской науке. И гораздо большей проблемой он был для выпускников университетов, чем колледжей. В университетах любой студент магистратуры, в отличие от студентов бакалавриата, мог быть зачислен на кафедру. Ему полагалась зарплата преподавателя и возможность проведения исследовательской работы, а также перспективы повышения. К тому же факультеты считали себя ответственными за отрасли промышленности, которым они

поставляли кадры, а большинство компаний, занимающихся исследованиями в области прикладных наук, были в основном закрыты для евреев. «Нам отлично известно, что следует перескакивать через фамилии, оканчивающиеся на “берг” или “штейн”», — заявил в 1946 году декан химического факультета Гарвардского университета Альберт Кулидж. Квоты на прием были введены в 1920–1930-х годах, когда поток детей эмигрантов, желавших получить высшее образование, возрос. Еврейский вопрос редко обсуждался открыто. Их стремление и напористость были пропитаны запахами съемного жилья. Это было неприлично. «Они гордились своими научными успехами… Мы же презирали усилия этих маленьких евреев», — писал один из гарвардских протестантов в 1920 году. Даже сам Томас Вульф, с пренебрежением относившийся к амбициям «еврейского мальчика», тем не менее понимал привлекательность научной карьеры: «Потому что, брат мой, он сгорает во тьме. Он видит классы, аудитории, сияющие аппараты в огромных лабораториях, открытый простор для обучения и исследований, знания и описание мира, озаренные светом имени Эйнштейна». Также было очевидно, что для дальнейшей преподавательской работы профессору необходимо было обладать определенными качествами, а евреи зачастую были застенчивыми, мягкими или, напротив, одаренными, нетерпеливыми и нечувствительными к другим. В узких, однородных кругах университетского общества кодовыми словами были *располагающий* или *воспитанный*. Даже несмотря на то что Оппенгеймер долгие годы был деканом Калифорнийского университета в Беркли, Раймонд Бирдж[75] высказался по его адресу: «Нью-йоркские евреи стадом повалили сюда вслед за ним, и некоторые из них были далеко не так хорошо воспитаны».

Фейнман, нью-йоркский еврей, явно не интересовавшийся ни религией, ни общественным мнением, никогда не высказывался о проявлениях антисемитизма. В Принстон его приняли, и с этого момента у него не было повода беспокоиться о своем трудоустройстве. Однако во время учебы в МТИ год за годом он не мог получить работу в летний период в телефонной лаборатории Белла, даже несмотря на рекомендации будущего Нобелевского лауреата Уильяма Шокли[76], работавшего там. До войны в компанию Белла не принимали ученых еврейского происхождения. В конце концов и Бирджу представилась возможность взять Фейнмана на работу в Беркли. Разочарованный Оппенгеймер настойчиво рекомендовал его, но Бирдж отложил решение этого вопроса на два года. Однако через два года было уже слишком поздно. В первом случае

антисемитизм сыграл большую роль, во втором — незначительную. Если бы Фейнман заподозрил, что его религиозная принадлежность повлияла на его карьеру, он был бы весьма огорчен.

Внутримолекулярные силы

Тринадцать студентов-физиков МТИ выполняли в 1939 году свои дипломные работы. Накопленных знаний все еще было весьма мало, и трудно было ожидать, что работы выпускников будут нетривиальны и достойны публикации. Эти проекты, анализирующие спектры однократно ионизированного гадолиния или гидратированных кристаллов хлорида марганца, должны были стать стартом их научной карьеры и заполнить пробелы в стене мировых знаний. (Идентификация характерной комбинации длин волн, излучаемых подобными веществами, требовала терпения и точности проведения экспериментов, а новые вещества создавались настолько часто, что ученые в области спектроскопии только успевали их анализировать.) Выпускники могли разрабатывать новые лабораторные методы исследования или изучать кристаллы, в которых при сжатии образуется электрический ток. Дипломная работа Фейнмана начиналась с изучения локальной проблемы, а закончилась фундаментальным открытием сил, действующих внутри молекул любых веществ. Даже несмотря на то что она никак не была связана с его будущей, более значимой работой, она тем не менее стала незаменимым инструментом в физике твердых тел. Сам же Фейнман в дальнейшем просто упускал ее из виду как нечто очевидное, что можно описать буквально в двух словах.

Ричард не знал, что, когда он еще учился на младших курсах, профессор Морс, преподававший курс квантовой механики, рекомендовал факультету выпустить его на год раньше. Предложение было отклонено, а Слейтер стал научным руководителем дипломной работы Фейнмана. Он предложил ему тему, которая на первый взгляд выглядела не сложнее остальных. Вопрос словно был из справочника по химии и физике: почему кварц так незначительно расширяется под воздействием тепла? Почему его коэффициент расширения так мал по сравнению с коэффициентами расширения металлов, например?

Любое вещество расширяется — увеличивает свой объем — под воздействием высоких температур, так как его молекулы переходят в возбужденное состояние. Но в твердых телах расширение зависит от того, как в нем расположены молекулы, и может быть разным по величине в разных направлениях. Молекулярное строение кристаллов можно представить в виде стандартной объемной геометрической решетки. Обычно ученые наглядно представляли кристаллическую структуру в виде геометрической модели, в которой шары, изображающие атомы,

скреплены проволочными стержнями, но в действительности строение вещества не настолько простое. Атомы могут быть в большей или меньшей степени закреплены в решетке, но могут также вращаться или сдвигаться. Электроны в металлах хаотично перемещаются вблизи атомов. Цвет, текстура, твердость, хрупкость, электропроводимость, мягкость и вкус вещества — все зависит от особенностей расположения атомов. Эти особенности, в свою очередь, зависят от сил, действующих внутри вещества, как классических, так и квантово-механических. И в тот период, когда Фейнман приступил к выполнению своей дипломной работы, природа этих сил еще не была достаточно понятна, даже в кварце, самом распространенном минерале на земле.

В старых конструкциях парового двигателя использовался механический регулятор — пара железных шаров, отклоняющихся от вращающегося стержня. Чем быстрее он крутился, тем дальше отклонялись шары и тем тяжелее было вращаться стержню. Фейнман представил, что нечто аналогичное наблюдается в кристаллической решетке кварца (молекула кварца, или диоксида кремния, состоит из двух атомов кислорода, соединенных с атомом кремния — SiO_2). Но атомы кремния не вращаются, они вибрируют. По мере нагревания кварца, как полагал Ричард, атомы кислорода могли обеспечить появление сил, направленных таким образом, чтобы компенсировать расширение. Но как можно было рассчитать силы, действующие внутри каждой молекулы, силы, величина которых изменялась в зависимости от направления? Казалось, что простого способа не существует.

Ричард никогда раньше так глубоко не задумывался о структуре молекул. Он выучил все что возможно о кристаллах, их стандартной классификации, геометрии и симметрии, расстоянии между атомами. И все это сводилось к тому, что ничего не известно о природе сил, действующих на молекулы таким образом, что формируются определенные структуры. В поисках основополагающих законов, все больше углубляясь внутрь вещества, физика оказалась на том этапе, когда возникла необходимость разобраться в том, как действуют силы в молекулах. Ученые могли оценить силу, с которой требуется надавить на кварц, чтобы сжать его на определенную величину в заданном направлении. Новый метод, основанный на рентгеновской дифракции[77], позволял получить изображения узлов кристаллической решетки и определить структуру кристаллов. В то время как одни теоретики продолжали все глубже проникать в строение ядра атома, другие ученые пытались применить квантовые методы к решению вопросов структуры кристаллов и химии. «Наконец-то материаловедение получило

возможность четко определять структуру вещества», — сказал тогда Сирил Стенли Смит, специалист по структуре материалов, встретившийся с Фейнманом в Лос-Аламосе несколько лет спустя, где он занимал должность главного металлурга секретного проекта. От атомных сил к тому, что заставляет нас чувствовать — вот какую связь предстояло открыть. От абстрактной энергии к трехмерным формам. Как точно заметил Смит: «Материя — это голограмма самой себя в собственном бесконечном излучении».

Силы или энергия — таков был выбор у тех, кто искал применение квантовым представлениям об атоме в работе с реальными материалами. И дело касалось не только терминологии. Необходимо было принять ключевое решение о том, как сформулировать задачу и как приступать к расчетам.

Представление о силах, действующих в природе, вернулось к ньютоновскому. Это был прямой взгляд на мир, предполагающий прежде всего, что объекты непосредственно взаимодействуют друг с другом, причем один из них всегда действует силой на другого. Различие в понимании силы и энергии не ощущалось вплоть до XIX века, когда постепенно понятие «энергия» только-только стало выходить на первый план. Сила в современном понимании — это векторная величина, характеризующаяся численным значением (модулем) и направлением Энергия же величина скалярная, то есть имеет только численное выражение (модуль). С расцветом термодинамики энергии как физической характеристике стали придавать все более важное, более фундаментальное значение. Химические реакции можно было точно рассчитать как действия, в результате которых происходит уменьшение энергии. Даже мяч, скатывающийся сверху вниз, стремился к тому, чтобы его потенциальная энергия стала меньше. В методе Лагранжа, которому Фейнман так сопротивлялся на втором курсе, тоже использовался принцип минимизации энергии (действия), чтобы обойти утомительные вычисления прямого воздействия. А закон сохранения энергии обеспечивал возможность проведения различных расчетов. Похожего закона для сил не существовало.

Тем не менее Фейнман продолжил искать способ решить проблему, поставленную Слейтером, используя в своих расчетах силы, так что его дипломная работа выходила за рамки сформулированной задачи. Для Фейнмана наличие сил в молекулах не вызывало сомнения. Он представлял в своем воображении силы притяжения и отталкивания атомов как пружинообразные связи различной жесткости. Использование для их расчета стандартных методов, учитывающих энергию, казалось устаревшим и эвфемистическим. Ричард дал своей работе

грандиозное название — «Силы и напряжение в молекулах» — и начал с того, что решил разобраться в структуре молекул напрямую, используя для описания межатомных взаимодействий силу. Этот подход представлялся, безусловно, более сложным, чем предложенный ранее.

Фейнман полагал, что на начальном этапе развития квантовой механики использование в расчетах энергии было связано с двумя причинами. Во-первых, сначала в теоретических работах по привычке проверка формул осуществлялась только одним способом — расчетом видимого спектра света, излучаемого атомами, где силы не играли очевидной роли. Во-вторых, уравнение Шрёдингера просто не позволяло вычислять векторные величины, в его естественном контексте предполагалось, что рассчитываемая энергия не имеет направления.

Когда Фейнман учился на четвертом курсе, всего через десять лет после трехлетней революции Гейзенберга, Шрёдингера и Дирака, прикладные области физики и химии были востребованы как никогда. Для многих квантовая механика могла показаться абсолютной головоломкой с ее философскими изъяснениями и вычислительными кошмарами. В руках же тех, кто исследовал структуру металлов или химические реакции, новая физика была скальпелем, позволяющим проникнуть внутрь загадки, которую классическая физика считала неразрешимой. Успех квантовой механики обеспечили не несколько теоретиков, считавших ее математически убедительной, а сотни специалистов в области материаловедения, которые обнаружили, что она реально работает. Это позволяло решать новые задачи и открывало новое поле деятельности. Стоило только научиться использовать несколько уравнений, и можно было наконец вычислить размер атома или точно измерить толщину серой пленки на оловянной поверхности.

Основное, чем руководствовался Фейнман, было волновое уравнение Шрёдингера. В соответствии с квантово-механической теорией частица не являлась частицей как таковой, а представляла собой некое размытое пятно, облако вероятностей, аналогичное распространяющейся волне. Волновое уравнение позволяло вычислить вероятность нахождения этих пятен в любом месте в определенном диапазоне. Это было важно. Никакие другие классические методы расчета не могли показать, в каком месте находятся электроны в конкретном атоме: исходя из классических представлений, отрицательно заряженные электроны должны стремиться занять позицию, в которой они обладали бы наименьшей энергией, то есть по спирали двигаться

в направлении положительно заряженных ядер. В этом случае вещество не могло бы существовать. Материя разрушала бы себя. Только с помощью квантовой механики появилась возможность объяснить, почему этого не происходит: потому что у электронов нет определенного местоположения в пространстве. Квантово-механическая неопределенность не дала пузырю лопнуть. Волновое уравнение Шрёдингера позволяло выяснить, где энергия электронных облаков будет минимальна, и от этих облаков зависят свойства всех твердых тел в мире.

Достаточно часто удавалось получить конкретное представление о распределении заряда электронов в трехмерном пространстве кристаллических молекулярных решеток твердых тел. Это распределение заряда, в свою очередь, удерживало тяжелые ядра на определенном месте, опять при соблюдении условия, что общая энергия минимальна. Существовал и способ рассчитать силы, действующие на определенное ядро, если это было необходимо. Но расчет был очень трудоемким. Нужно было рассчитать энергию, потом рассчитывать ее снова и снова, уже с учетом слегка изменившегося положения ядра. Результаты расчетов можно было представить графически в виде кривой, отражающей изменение энергии. Наклон этой кривой и определял скорость изменения энергии, то есть силу. Для каждой конфигурации вычисление требовалось проводить отдельно. Фейнману это казалось расточительством — пустой тратой времени.

Ему потребовалось несколько страниц, чтобы описать новый метод. Он показал, что силу можно было рассчитать напрямую для данной конфигурации атомов, не учитывая близлежащие конфигурации. Его метод позволял сразу определять наклон кривой изменения энергии, то есть силу, избавляя от необходимости строить кривую полностью и потом уже определять угол наклона. Метод вызвал сенсацию среди специалистов физического факультета МТИ, ведь многие из них потратили уйму времени на решение прикладных проблем молекулярной физики. Как верно заметил сам Фейнман: «Следует подчеркнуть, что это позволяло значительно сократить трудоемкость вычисления».

Слейтер заставил Ричарда переписать первую версию работы. Ему не нравилось, что Фейнман писал так же, как говорил. Подобный стиль изложения был неприемлем для научных работ. Затем он посоветовал сделать урезанную версию для публикации. В Physical Review приняли статью и напечатали ее под коротким заголовком «Силы в молекулах» (Forces in Molecules).

Не для всех вычислений можно было подобрать образные

выражения, которые использовали ученые для описания реальности, но для фейнмановского это было возможно. Оно перекликалось с теоремой, которую легко было сформулировать и так же легко изобразить визуально. Сила, действующая на ядро атома, не что иное как электрическая сила окружающего его поля заряженных электронов — электростатическая сила. Как только удавалось вычислить распределение зарядов, прибегнув к методам квантовой механики, сама квантовая механика переставала быть необходимой. Задача переходила в область классической физики. Ядра можно было рассматривать как статические точки, обладающие массой и зарядом. Метод Фейнмана можно было применять к любым химическим связям. Если два ядра так же сильно притягиваются друг к другу, как ядра водорода при образовании молекулы воды, то это происходит потому, что каждое ядро притягивается к электрическому заряду, сосредоточенному, с точки зрения квантовой механики, между ними.

Вот и всё. Тема его дипломной работы находилась в стороне от основных разработок Фейнмана в области квантовой механики, и он редко потом возвращался к ней снова. Но даже когда делал это, всегда чувствовал неловкость, что потратил столько времени на вычисления, которые теперь казались очевидными. В его понимании все это было бессмысленно. Он никогда не видел, чтобы кто-то из ученых ссылался на нее. Поэтому был удивлен, когда в 1948 году услышал о спорах, разгоревшихся в среде физиков по поводу открытия, известного теперь как теорема Фейнмана или теорема Фейнмана — Гельмана. Некоторым химикам она казалась слишком простой, чтобы быть верной.

Достаточно ли он хорош?

За несколько месяцев до выпускного многие из тридцати двух членов братства *Phi Beta Delta* позировали для общей фотографии. Фейнман, сидевший слева в первом ряду, все еще выглядел меньше и моложе своих однокашников. Он, скрипя зубами, подчинялся командам фотографа: положить руки на колени и сильно наклониться к центру. После окончания учебы он отправился домой и вернулся на выпускной в июне 1939 года. Он только что научился водить автомобиль и привез Арлин и родителей в Кембридж. По дороге у него страшно разболелся живот — как он думал, от напряжения за рулем. Его госпитализировали на несколько дней, но он поправился и успел на церемонию. Много лет спустя он вспоминал эту поездку. Он помнил, как друзья дразнили его, когда он влез в профессорскую мантию, — Принстон не знал еще, какой непростой парень ему достанется. Он помнил Арлин. «Это всё, что я помню из того дня, — говорил он историку. — Я помню мою милую девочку».

Слейтер ушел из МТИ через несколько лет после Фейнмана. К тому времени необходимость проведения военных исследований привела сюда Исидора Раби, который возглавил новую лабораторию по изучению проблем радиации, созданной для разработки аппаратуры, позволившей бы с помощью радиоволн со все более и более высокими частотами засекать самолеты и корабли даже в условиях высокой облачности и ночью, — радара. Некоторым казалось, что Слейтеру, не привыкшему быть в тени более знаменитых коллег, присутствие Раби было невыносимо. Морс также покинул институт, чтобы внести свой вклад в развитие новой государственной структуры. Как и многие ученые средней руки, эти двое чувствовали, как их репутация меркнет с течением жизни. Оба опубликовали короткие автобиографии. Морс писал о трудностях, которые вставали на его пути, когда он старался направить студентов в нужное русло в области столь непонятной массам науки, как физика. Он вспоминал, как к нему подошел отец одного из выпускников — Ричарда. Мужчина удивил Морса своей необразованностью. Уже одно то, что он пришел в университет, заставляло его нервничать. Он не очень хорошо выражал свои мысли. Морс припоминает, как тот попросил «не обращать внимания на его неуверенность и извинения»: «Мой сын Ричард оканчивает институт весной. Он говорит, что хочет продолжить обучение и получить еще одну степень. Я думаю, что могу себе позволить оплатить дополнительные три-четыре года образования. Но я хочу знать,

действительно ли это того стоит? Вы работали с ним. Скажите, достаточно ли он хорош для дальнейшего обучения?»

Морс пытался сдержать смех. В 1939 году физикам было нелегко найти работу, но отцу Фейнмана он сказал, что у Ричарда, несомненно, все будет хорошо.

Принстон

* * *

Убежденный сторонник теории Нильса Бора, невысокий сероглазый двадцативосьмилетний доцент по имени Джон Арчибальд Уилер приехал в Принстонский университет в 1938 году, на год раньше Фейнмана. У него были такие же, как у Бора, закругленные брови, мягкие черты лица и та же манера, разговаривая о физике, вкладывать в свои слова загадочный скрытый смысл. В последующие годы ни одному физику не удалось превзойти Уилера ни в его отношении к непознанному, ни в умении двусмысленно высказываться.

Черные дыры не имеют волос. Это сказал именно он. Фактически ему принадлежит и сам термин «черная дыра».

Нет никакого закона, кроме закона, утверждающего, что нет никакого закона.

Я хожу на двух ногах, и одна из них всегда догоняет другую.

В любой области ищите самое странное и исследуйте это.

Отдельные события. События, не подчиняющиеся законам. События столь многочисленные и столь нарочито разрозненные, с подчеркнутой спонтанностью, при этом все же приобретающие устойчивый облик.

Он одевался как бизнесмен. Галстук всегда туго завязан, манжеты накрахмалены. У него была привычка во время беседы со студентами непринужденно доставать карманные часы, доходчиво намекая, что потратит на них только отведенное им время. Его коллега по Принстону Роберт Уилсон полагал, что за фасадом джентльмена Уилер скрывает еще более безупречного джентльмена, за которым прячется еще более безупречный, и так далее. «Однако, — добавлял Уилсон, — где-то между этими джентльменами затаился тигр, дерзкий разбойник <…> у которого хватает смелости браться за любую, самую сумасшедшую задачу». Лекции Уилер читал очень уверенно, производя впечатление на аудиторию простым изложением и провокационными схемами. В детстве он тщательно изучил книгу под названием Ingenious Mechanisms and Mechanical Devices («Хитрые механизмы и механические устройства»). Он сам конструировал арифмометры и автоматические пистолеты, в которых все детали и рычаги были вырезаны из дерева. Его иллюстрации к самым непонятным квантовым парадоксам, которые он набрасывал на грифельной доске, были столь остроумны и отточены, что казалось, будто весь мир представляет собой не что иное, как удивительный ясный механизм. Сын библиотекарей и племянник горняков, Уилер вырос в Огайо,

окончил колледж в Балтиморе, получил степень в Университете Джона Хопкинса. А потом он выиграл стипендию Национального научно-исследовательского совета, что в результате и привело его в 1934 году в Копенгаген. Он отправился туда на грузовом судне, чтобы учиться у Нильса Бора, заплатив за билет пятьдесят пять долларов.

В начале 1939 года Уилер и Бор снова будут работать вместе, на этот раз уже как коллеги. Принстон, чтобы развивать новое направление — ядерную физику, пригласил не только Уилера, но и известного венгерского ученого Юджина Вигнера. МТИ же оставался довольно консервативным учреждением и не спешил бежать впереди паровоза. Слейтер и Комптон придерживались сложившихся представлений о физике и тяготели к развитию на факультете практичных направлений. В Принстоне все было иначе. Уилер все еще помнил то непередаваемое чувство, которое испытал, впервые наблюдая за процессом радиоактивного излучения. Он помнил, как сидел в темной комнате, уставившись в черный экран из сульфата цинка, и подсчитывал периодические вспышки альфа-частиц, испускаемых радоновым источником. Бор к тому времени уже покинул неспокойную Европу, чтобы посетить институт Эйнштейна в Принстоне. Уилер, встречавший Бора, прибывшего в Нью-Йорк на корабле, узнал от него о том, какое пристальное внимание уделяют изучению атомов урана в Европе.

По сравнению с атомом водорода, с изучения ядра которого Бор начал свою квантовую революцию, атом урана был просто монстром. Самый тяжелый, состоящий из 92 протонов и более чем 140 нейтронов атом[78], редко встречающийся в природе (всего один на семнадцать триллионов атомов водорода), нестабильный, предрасположенный к внезапному распаду на более легкие элементы или — а это были экстраординарные новости, и именно над этим вопросом Бор работал во время своего путешествия через Атлантику, — расщеплению при столкновении с нейтроном на свободные пары более легких атомов бария и криптона или теллура и циркония с высвобождением новых нейтронов и энергии. Как можно было представить эти ядра? Как скопления твердых частиц, скользящих друг на друге? Как гроздья винограда, перемотанные плотной резинкой? Или как «жидкие капли», представлявшие собой мерцающие, отталкивающиеся, постоянно колеблющиеся шаровидные частицы, сжимающиеся в форму песочных часов и растрескивающиеся в их тонкой части? Формулировка «жидкие капли» распространилась, словно вирус, в среде физиков в 1939 году. Именно эта «жидкокапельная» модель позволила

Уилеру и Бору сделать одно из самых невероятных и величайших упрощений в науке — выстроить теорию феномена, который позже назовут расщеплением ядра. Сам термин не принадлежал Уилеру и Бору. Они весь вечер пытались придумать вариант получше, что-то вроде *раскола* или *деления*, но в конце концов сдались, так и не найдя нужного слова.

Разумно было предположить, что модель жидких капель лишь весьма приближенно описывает скопления частиц в ядре атома, состоящего из более чем двухсот частиц, удерживаемых вместе ядерными силами, действующими на близких расстояниях и отличающимися по своей природе от действующих в молекулах электрических сил, которые изучал Фейнман. Для атомов меньшего размера метафору «жидкие капли» использовать было нельзя, но для описания крупных, таких как атомы урана, она работала. Форма ядра атома, как и форма жидкой капли, зависела от тонкого баланса между двумя противоположными силами. Силы ядерного притяжения (так называемое сильное взаимодействие) в атоме подчиняются тому же принципу, благодаря которому за счет поверхностного натяжения удерживается компактная геометрическая форма капли. Этому притяжению противостоит электрическая сила отталкивания (согласно закону Кулона), действующая между положительно заряженными протонами. Бор и Уилер поняли, насколько важно облучать именно медленными нейтронами, которые Ферми счел совершенно бесполезными, когда работал в своей лаборатории в Риме[79], и сделали два громких заявления. Во-первых, к взрыву приведет ядерный распад только редкого изотопа[80] урана — урана-235. Во-вторых, бомбардировка нейтронами также приведет и к ядерному распаду и образованию нового вещества с атомным номером (зарядом) 94 и массой 239, не существующего в природе и пока не полученного в лаборатории. На основе этих двух теоретических утверждений вскоре начал развиваться огромный, невиданный ранее технологический проект.

Одна за другой открывались лаборатории ядерной физики. Американский дух изобретательства был теперь направлен на то, чтобы разработать аппарат, позволяющий ускорять пучки заряженных частиц, сталкивать их с атомами металлов или газов и отслеживать частицы, образующиеся в результате их столкновений, используя камеры с ионизированным газом. Один из первых в стране «циклотронов» — такое название этот аппарат получит в будущем — появился именно в Принстоне в 1936 году. Его стоимость была такой же, как и стоимость нескольких автомобилей. В университете имелись и ускорители меньшего размера, которые работали каждый день, что позволяло получать

редкие элементы и изотопы и накапливать новые знания. Когда так мало известно, результаты почти каждого эксперимента приобретают особую значимость.

Полученные на новом мощном оборудовании данные становилось все труднее оценивать и интерпретировать. Ранней осенью 1939 года студент по имени Хайнц Баршалл обратился к Уилеру с типичной проблемой. Как и большинство новоиспеченных практиков, Баршалл использовал ускоритель заряженных частиц, чтобы измерить их энергию. Внутри ионизированной камеры происходило рассеяние частиц, и ему надо было оценить зависимость энергии частиц от угла столкновения. Баршалл понял, что эксперимент не будет чистым, так как сама камера будет вносить искажения. Проблема заключалась в том, что некоторые частицы могли начать ускоряться вне камеры, другие — уже в ее цилиндрических стенках, и, следовательно, зафиксированная энергия не будет соответствовать ее истинному значению. Необходимо было найти способ, позволяющий полученное с помощью расчетов значение энергии привести в соответствие энергии реальной. Это была задача, для решения которой требовалось выполнять громоздкие вычисления вероятностей в сложной геометрии. Баршалл понятия не имел, с чего начать. Уилер же ответил, что он сам слишком занят, чтобы вникать, и посоветовал обратиться к новому очень сообразительному аспиранту.

Баршалл послушно разыскал Дика Фейнмана в здании колледжа. Фейнман выслушал его, но ничего не ответил. Баршалл решил, что пришел конец его научной работе. Ричард же только начинал привыкать к этому новому миру, который ему как физику казался гораздо меньше, чем тот научный центр, который он недавно покинул. Он покупал все необходимое в магазине на Нассау-стрит в западной части студенческого городка. Там его и заметил студент магистратуры Леонард Эйзенбад. «Похоже, ты намереваешься стать неплохим физиком-теоретиком, — сказал Эйзенбад, указывая на купленную Фейнманом корзину для мусора и тряпку для стирания мела с доски. — Все, что нужно, у тебя уже есть». В следующий раз, когда Баршалл встретился с Фейнманом, его удивила охапка исписанных листов, которую тот держал в руках. Ричард успел написать решение его задачи, пока был в дороге. Баршалл был впечатлен и стал еще одним молодым физиком в разрастающейся группе единомышленников, способных в полной мере по достоинству оценить способности Фейнмана.

Уилер тоже обратил внимание на Фейнмана, назначенного по непонятным им обоим причинам его ассистентом, так как

изначально предполагалось, что Фейнман будет работать с Вигнером. При первой встрече Ричард был удивлен молодостью профессора: тот был чуть старше его самого. Потом он был ничуть не меньше удивлен манерой Уилера сверяться со своими карманными часами. Он понял намек и во время следующей встречи тоже достал из кармана часы, купленные за доллар, и показал их Уилеру. Повисла пауза, после чего оба рассмеялись.

Чопорная деревня

Принстон славился своей аристократичностью. Университетские столовые, аллеи деревьев, каменные кладки и витражные окна, академические мантии за ужином и непременный обмен любезностями за чаем. Ни один другой колледж так не подчеркивал социальный статус своих выпускников как Принстон с его клубными традициями. Хотя XX век уже наложил свой отпечаток — количество выпускников выросло, а Нассау-стрит замостили, — Принстон в довоенные годы все же оставался таким, каким его с обожанием и поклонением описывал Скотт Фицджеральд — «неторопливым, привлекательным и аристократичным». Это был форпост между Нью-Йорком, Филадельфией и Югом. На его факультетах, очень профессиональных, все еще встречались фицджеральдовские «умеренно поэтичные джентльмены». Даже добродушный гений, прибывший в 1933 году и ставший самым знаменитым резидентом, не смог удержаться от насмешки. «Чопорная деревня тщедушных божков на ходулях», — описывал университет Эйнштейн.

Аспиранты, готовящиеся вступить на профессиональную стезю, были несколько отстранены от более праздных проявлений университетской жизни. Кафедра физики, в частности, развивалась в ногу со временем. Со стороны Фейнману казалось, что физики из Принстона составляли основную долю авторов научных журналов. Но даже несмотря на это, ему пришлось приспосабливаться к новому месту, которое, со своими внутренними дворами и множеством входящих в состав колледжей, походило на английские университеты даже больше, чем Гарвард и Йель. У здания аспирантуры, например, стоял «портье». Формальности, как обычно, пугали Фейнмана, но это продолжалось лишь до тех пор, пока он не начал понимать, что под академической мантией, которую нужно было носить обязательно, можно спрятать голые руки или пропитанную потом после игры в теннис спортивную форму. В день, когда он только приехал, осенью 1939 года, во время воскресного чаепития с деканом Эйзенхартом его несдержанные манеры стали настоящей проблемой. Он надел свой лучший костюм, вошел в дверь и увидел там худшее из того, что только мог вообразить, — молодых девушек. Он не знал, разрешалось ли ему присесть. И тут услышал голос позади:

— Вам чай со сливками или с лимоном?

Он обернулся и увидел жену декана, знаменитую светскую

львицу Принстона. Поговаривали, что математик Карл Людвиг Зигель, вернувшись в Германию после года обучения в Принстоне, рассказывал друзьям: «Гитлер страшен, но миссис Эйзенхарт страшнее».

— И с тем, и с другим, — выпалил Фейнман.

— Хе-хе-хе-хе-хе, — последовал ответ, — Вы, конечно, *шутите*, мистер Фейнман!

Фраза, несомненно, означала, что собеседник допустил бестактность. Каждый раз, когда Ричард вспоминал этот случай, слова звенели у него в ушах: «Вы, конечно, шутите». Да, вписаться в этот мир было непросто. Фейнман переживал, что плащ, присланный родителями, был слишком короток. Он попробовал заниматься греблей — спортом, популярным в Лиге Плюща и казавшимся не таким пугающим, учитывая опыт Фар-Рокуэй. Он помнил то беззаботное время, когда они плавали по заливам южного побережья. Однако почти сразу Фейнман плюхнулся в воду, не удержавшись в слишком узкой лодке. Его беспокоил финансовый вопрос. Когда к Фейнману приходили гости, то приносили с собой рисовый пудинг, виноград, крекеры с арахисовым маслом или джемом и ананасовый сок. Фейнман, как и другие начинающие ассистенты, получал пятнадцать долларов в неделю. Обналичивая сберегательные сертификаты, чтобы оплатить счет в 265 долларов, он потратил двадцать минут, подсчитывая, какая их комбинация даст минимальные проценты. Разница составила восемь центов. Внешне Ричард оставался таким же импульсивным. Вскоре после его приезда товарищи по аспирантуре заключили, что Фейнман был на одной волне с Эйнштейном, которого к тому времени он еще не встречал. С восхищением они слушали его телефонные разговоры, полагая, что он беседует именно с этим великим человеком: «Да, я пробовал это <…> да, сделал <…> О, хорошо, проверю». Но чаще всего Ричард, конечно, говорил с Уилером.

Так как Фейнман был ассистентом Уилера, ему часто приходилось подменять преподавателя сначала на занятиях по механике, позже — по ядерной физике. И он вскоре понял, что выступать в аудитории, заполненной студентами, — часть выбранной им профессии. Фейнман и Уилер встречались каждую неделю, чтобы обсудить, как продвигаются исследования. Поначалу задачи ставил Уилер, потом они стали принимать решения вместе.

В первые четыре десятилетия XX века в физике был совершен невероятный прорыв. Теория относительности, квантовая теория, космические лучи, радиация, строение атомного ядра — те направления, к которым были обращены взгляды ведущих

ученых. Такие классические разделы физики, как механика, термодинамика, гидродинамика и статическая механика, остались в стороне, и сообразительным аспирантам, открытым новым теориям, эти области представлялись наукой из учебников, уже ставшей частью истории или, в прикладном варианте, машиностроения. Физика была, как выразился ее летописец Абрахам Пайс[81], «обращена внутрь». Теоретиков интересовало строение ядра атома. Это направление стало приоритетным. Самое дорогостоящее экспериментальное оборудование: его стоимость могла достигать тысяч, а иногда и десятков тысяч долларов. Огромное потребление энергии. Непознанный мир новых веществ и «частиц» (это слово стало приобретать особое значение). Предлагаемые идеи казались странными и непонятными. Теория относительности, существенно повлиявшая на понимание космоса астрономами, практическое применение нашла в атомной физике, где ввиду того, что скорости частиц близки к скорости света, без релятивистской математики просто нельзя было обойтись. При проведении экспериментов использовались все более высокие мощности, что позволяло получать более значимые результаты. Благодаря квантовой механике физика утвердила свое превосходство над химией, которая до этого считалась самой фундаментальной наукой, так как объясняла основные законы природы.

Но в конце 1930-х — начале 1940-х годов физика элементарных частиц еще не считалась среди ученых приоритетным направлением. Так, в качестве темы ежегодной Вашингтонской конференции по физике в 1940 году организаторы рассматривали два варианта: «Элементарные частицы» и «Недра Земли» и выбрали в итоге второй. Но ни у Фейнмана, ни у Уилера не было сомнений в том, какое направление наиболее интересно и перспективно для теоретиков. Самым слабо развитым направлением фундаментальной физики в тот период была квантовая механика. Еще во время учебы в МТИ Фейнман прочел работу Дирака, опубликованную в 1935 году, в которой тот пришел к самому невероятному выводу: «Кажется, здесь нужны принципиально новые физические идеи». Дирак и другие первооткрыватели создали квантовую электродинамику — теорию взаимодействия электричества, магнетизма, света и материи — и развили ее настолько, насколько могли. Тем не менее теория оставалась незавершенной, и Дирак это хорошо знал.

Было непонятно, каким может быть электрон — фундаментальная частица с отрицательным зарядом. В тот

период современное представление об электроне еще не вполне сформировалось, хотя в наше время многие школьники могут непосредственно на своих столах проводить эксперименты, которые демонстрируют, что электрический заряд дискретен, то есть заряд любого тела кратен заряду электрона. Но все же, что представляет собой электрон? Вильгельм Рентген, обнаруживший существование высокоэнергетических лучей, названных впоследствии его именем, запретил использовать это неожиданно получившее распространение слово в своих лабораториях еще в 1920 году. В трудах по квантовой механике ученые пытались описать заряд электрона, его массу, импульс, энергию или спин почти в каждом новом уравнении, однако хранили молчание по поводу самой его природы. Особенно остро стоял вопрос: был ли он частицей, имеющей конечные размеры, или бесконечно малой точкой? В модели атома Нильса Бора, уже устаревшей к тому моменту, предполагалось, что электроны, как миниатюрные планеты, вращаются вокруг ядра. Теперь же казалось, что электроны скорее являются гармоническими колебаниями. В некоторых формулировках электрон больше походил на волны, причем волна представляла собой распределение вероятностей их возникновения в конкретном месте в конкретное время. Но возникновение *чего*? Объекта, элемента, частицы?

Даже до появления квантовой механики классическое представление об электроне вызывало сомнения. Из уравнения, описывающего зависимость энергии (или массы) и заряда электрона и в которое входит еще один параметр — его радиус, следует, что с уменьшением размера электрона его энергия должна возрастать, подобно тому, как давление молотка, сосредоточенное в острие гвоздя, по которому он бьет, увеличивается до тысячи килограммов на квадратный сантиметр. Кроме того, если представлять электрон в виде крошечного шарика определенного размера, то возникает вопрос: почему он не разрушается под воздействием собственного заряда, какая сила удерживает его от этого? Оказалось, что физики манипулируют величиной, называемой «*классический* радиус электрона». Слово «классический» в данном контексте было своего рода прикрытием. Проблема заключалась в том, что при использовании альтернативного варианта, в котором электроны считаются бесконечно малыми точками, уравнения электродинамики не решаются: при делении на ноль получается бесконечность. Бесконечно маленькие гвозди, бесконечно сильные молотки.

В некотором смысле уравнения оценивали воздействие заряда электрона на самого себя, то есть его «собственную

энергию». Это самовоздействие постепенно возрастало при приближении к центру электрона, но было непонятно, что будет, если в расчетах достичь центра электрона. Когда расстояние до центра становилось равным нулю, величина воздействия становилась равной бесконечности. Это казалось невозможным. Волновое уравнение квантовой механики только все усложняло. Чтобы избежать деления на ноль, которое во время учебы в школе вызывает ужас у учеников, физики задумались о создании уравнений, которые позволили бы выйти за пределы этих ограничений, ведь они суммировали бесконечное множество длин волн, бесконечное множество колебаний поля. Но даже тогда Фейнман не до конца понимал эту формулировку задачи, связанную с бесконечностью. Иногда, при решении достаточно простых задач, физикам удавалось получать разумные ответы, если они считали целесообразным отбрасывать те части уравнения, которые расходились с результатами. Как заметил Дирак в выводах к своей работе «Принципы квантовой механики», бесконечности в уравнении означали, что теория была фатально ошибочной. *Появилось ощущение, что необходимы принципиально новые физические идеи*.

Фейнман склонялся к решению настолько радикальному и простому, что его мог бы принять лишь человек, совершенно незнакомый с научной литературой. Он допустил (пока только для себя), что электроны вообще не могут воздействовать на себя. Такое предположение нуждалось в доказательстве и казалось довольно глупым. Однако, как он и ожидал, если исключить воздействие электрона на себя, то устранялось и воздействие поля как такового. Именно поле, представляющее собой суммарное воздействие зарядов всех электронов, и вызывало «самовоздействие». Заряд электрона оказывал влияние на поле, а поле, в свою очередь, воздействовало на электрон. Если предположить, что поля не существует, можно не учитывать его влияние на электроны. Тогда на каждый электрон будут оказывать влияние только другие электроны. Таким образом, будут осуществляться только непосредственные взаимодействия между зарядами. В этом случае в уравнении необходимо учесть задержку во времени, потому что, в какой бы форме это взаимодействие ни происходило, оно едва ли могло осуществляться со скоростью, превышающей скорость света. Взаимодействие было легким и осуществлялось в виде радиоволн, видимого света, рентгеновских лучей или любых других видов электромагнитного излучения. «Встряхни что-то одно, через какое-то время встряхнется и что-то другое, — сказал Фейнман позже. — Атомы на Солнце приходят в движение, а

восемь минут спустя[82] начинают колебаться электроны в моих глазах. Это и есть прямое воздействие».

Никакого поля. Никакого самосогласованного действия. Следуя утверждению Фейнмана, законы природы были не столько открыты учеными, сколько умозрительно выведены. Впрочем, их смысл, переведенный на язык слов, несколько размывался. Фейнмана интересовал не столько сам факт воздействия электрона на самого себя, сколько возможность обоснованно отбросить эту концепцию. То есть не существование поля в природе, а возможность его существования в уме физика. Когда Эйнштейн провозгласил, что эфира не существует, он говорил, что отсутствует что-то реальное, или, по крайней мере, то, что должно было существовать, — представьте хирурга, который вскрыл грудную клетку и не обнаружил там пульсирующего сердца. С полем все было иначе. Оно было придумано, а не существовало в реальности. Английские ученые Майкл Фарадей и Джеймс Максвелл, которые ввели это понятие в XIX веке, полагая, что оно столь же необходимо, как хирургический скальпель, начали чуть ли не извиняться. Они не ожидали, что их слова воспримут буквально, когда писали о «силовых линиях», которые Фарадей наблюдал, разбрасывая металлические опилки вблизи магнита, или о «промежуточных шестернях»[83], псевдомеханических невидимых вихрях, которые, по представлениям Максвелла, заполняли пространство. Они заверяли своих читателей, что это были всего лишь аналогии, хотя и обоснованные математически.

Понятие поля было предложено не просто так. Оно давало возможность свести воедино свет и электромагнетизм и было не чем иным, как преобразованием одного в другое. Как и абстрактный приемник ныне не существующего эфира, поле идеально объясняло распространение волн, а энергия, казалось, действительно волнообразно пульсировала из его источников. Каждый экспериментатор, так же увлеченно изучающий электрические цепи и магниты, как Фарадей и Максвелл, мог почувствовать, как «вибрации» или «волновые движения» движутся циклически, подобно кручению колеса[84]. Но главное, поле позволяло объяснить, почему находящиеся на расстоянии объекты взаимодействуют друг с другом. В поле силы распространялись непрерывно, от одного места к другому. Никаких скачков, никакого волшебного подчинения непонятно откуда поступающим командам. Американский физик и философ Перси Бриджмен сказал: «Гораздо проще принять рациональный взгляд на то, что гравитация Солнца действует на Землю сквозь пространство, чем верить, что воздействующая сила

«перескакивает» через разделяющее их расстояние и находит цель благодаря своей телеологической проницательности». К тому времени ученые уже забыли, что поле само по себе тоже несло налет магии: волнообразное нечто, которого не было, и пустое пространство, не вполне пустое и, строго говоря, не совсем пространство. Или, как позже сказал теоретик Стивен Вайнберг, «напряжение в мембране, но без самой мембраны». Понятие поля стало настолько привычным для физиков, что даже материя порой казалась им неким придатком, «точкой» этого поля, «пятном», или, как сказал Эйнштейн, тем местом, где поле было особенно интенсивно.

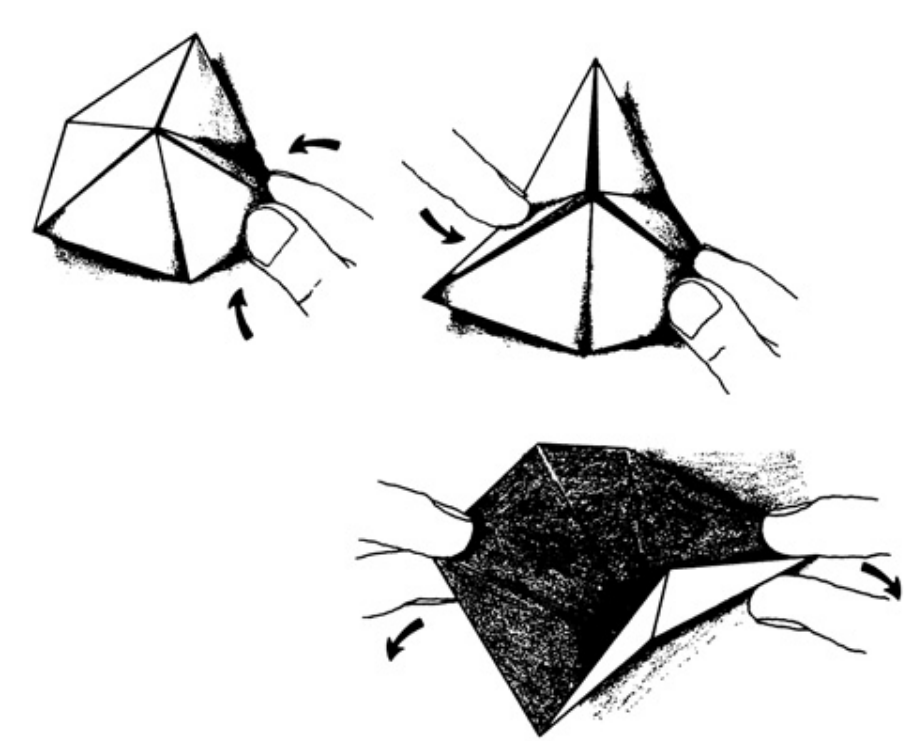
Принимать гипотезу поля или отрицать ее — так или иначе, к 1930 году это был уже вопрос метода, а не реальности. События 1926–1927 годов многое прояснили. Никто уже не был так наивен, чтобы сомневаться в существовании матриц Гейзенберга или волновых уравнений Шрёдингера. Это два разных взгляда на одни и те же процессы. В поисках новой теории Фейнман обратился к классическим представлениям о взаимодействии частиц. Ему пришлось столкнуться с волнообразным распространением энергии и обманчивым действием на расстоянии. В то же время Уилера заинтересовала абсолютно четкая концепция того, что электроны могут взаимодействовать напрямую, без участия поля.

Сгибы и ритмы

Во время учебы в аспирантуре Фейнману приходилось чаще общаться с математиками, чем с физиками. Студенты, обучающиеся на двух потоках, собирались каждый полдень в общем холле на чай — опять же, дань английским традициям, — и Фейнман постоянно слышал разговоры математиков на совершенно чуждом ему профессиональном языке. Математика уже переставала развиваться как наука, непосредственно используемая в современной физике, а сами математики все больше и больше склонялись к изучению таких кажущихся непонятными разделов как, например, топология[85], рассматривающая фигуры в двух-, трех- и многомерных пространствах без учета фиксированных длин или углов. Будущие математики и физики все заметнее отдалялись друг от друга. В последний год обучения их практически ничего не связывало — ни совместные курсы, ни темы для разговоров. Фейнман же во время общих чаепитий, присоединившись к одной из групп или сидя на диване, слушал, что говорили математики о доказательствах. Так или иначе, он интуитивно чувствовал, какая теорема может быть выведена из какой леммы, даже если не понимал толком предмета спора. Ему нравились эти странные беседы. Нравилось угадывать противоречащие логике ответы на не поддающиеся наглядному представлению вопросы. Нравилось, как и всем физикам, подкалывать присутствующих, утверждая, что математики все время пытаются доказать очевидное. И хотя он подшучивал над ними, его восхищало это общество людей, увлеченных непостижимой наукой. Одним из друзей Ричарда был Артур Стоун, терпеливый молодой англичанин, обучавшийся в Принстоне на стипендию. Другим — Джон Тьюки, впоследствии ставший одним из известных в мире статистиков. Эти парни очень серьезно относились к своему свободному времени. Стоун привез из Англии блокноты, в которые можно было вставлять листы, а так как стандартная американская бумага была шире его блокнотов на два с половиной сантиметра, то у него всегда имелся большой запас бумажных полосок, из которых получались разные фигурки. Он попробовал сгибать бумагу по диагонали под углом 60° и получил ряд равносторонних треугольников. А затем, по этим сгибам, он сложил полоски в идеальный шестигранник.

Согнув полоску так, что ее края соединились, он обнаружил, что придумал необычную игрушку. Он зажал противоположные углы шестигранника и получил странную фигуру, напоминающую оригами, — новый шестигранник с другим набором

треугольников. При повторном сжатии открывались другие грани. Еще один «флекс»[86] — и фигура принимала изначальный вид. В итоге получалась плоская фигурка, которую можно было выворачивать туда-сюда.



Как сделать гексафлексагон

Стоун занимался этим всю ночь, а утром взял длинную полоску и подтвердил возникшую у него гипотезу: более сложный шестигранник мог бы состоять не из трех, а из шести различных поверхностей. На этот раз цикл процесса изготовления оказался не таким простым. Три грани появлялись снова и снова, в то время как остальные три были скрыты. Нетривиальный вызов его топологическому воображению. Искусство оригами развивалось столетиями, но никому прежде не удавалось воспроизвести столь изящную фигуру. В течение нескольких дней такие флексагоны, в дальнейшем получившие названия гексафлексагоны (шесть сторон, шесть поверхностей), циркулировали по обеденному залу во время обедов и ужинов. А затем появилась Комиссия по изучению флексагонов, в состав которой вошли Стоун, Тьюки, математик Брайант Такерман и их друг физик Фейнман. Оттачивая свое мастерство и ловкость в обращении с листами и полосками бумаги, они сделали гексафлексагоны с двенадцатью поверхностями, скрытыми внутри, потом с двадцатью четырьмя и

даже с сорока восьмью. Количество вариаций в каждом виде флексагонов стремительно увеличивалось в соответствии с далеко не очевидным законом. Теория флексагонов развивалась, занимая свое место на стыке топологии и теории сетей. Фейнман же внес в нее свой вклад, придумав диаграмму, впоследствии названную в его честь, которая показывала все возможные конфигурации гексафлексагона.

Семнадцать лет спустя, в 1956 году, в журнале Scientific American будет опубликована статья Мартина Гарднера «Флексагоны» (Flexagons), которая даст старт его карьере как человека, способствовавшего развитию занимательной математики. За двадцать пять лет ведения колонки «Математические игры» он издал более сорока книг. Первая же его статья вызвала настоящий бум у детей. В форме флексагонов изготавливали рекламные флайеры и открытки. Они вдохновили на написание нескольких книг и статей для учащихся младшей и средней школы. Среди сотен писем, пришедших в редакцию, находилось и послание из лаборатории Аллена дю Монта из Нью-Джерси. Оно начиналось так:

«Дорогая редакция, меня очень заинтересовала статья “Флексагоны”, опубликованная в вашем декабрьском номере. Нам потребовалось всего шесть или семь часов, чтобы склеить гексафлексагон для получения нужной фигуры. И с тех пор он не перестает привлекать внимание. Но у нас тут вот какая проблема. Сегодня утром, когда один из сотрудников сворачивал гексафлексагон, кончик его галстука попал между граней. И с каждым следующим сгибом галстук все больше и больше исчезал в фигуре. После шести сгибов он полностью пропал там. Нам безумно нравится изготавливать фигуры, и мы не смогли проследить, как все получилось, но мы нашли шестнадцатую конфигурацию гексафлексагона…»

Игровой настрой и жажда интеллектуальных исследований шли теперь рука об руку. Целые дни Фейнман проводил, сидя на подоконнике в своей комнате, и с помощью бумажных полосок переправлял муравьев к упаковке сахара, подвешенной на веревках. Ему хотелось выяснить, как муравьи общаются между собой и способны ли они воспринимать геометрические образы. Однажды зимой, когда он, как обычно, сидел у окна, один из соседей ворвался к нему в комнату, держа в руках горшочек с «Джелло»[87], распахнул окно, продолжая рьяно помешивать желе в банке, и закричал: «Не мешай мне!» Он пытался установить, как будет застывать желе, когда его перемешивают. Другой студент затеял спор о способностях передвижения человеческих сперматозоидов. Фейнман исчез и вернулся вскоре с

готовым образцом. Вместе с Джоном Тьюки Ричард долгое время изучал способность людей контролировать время с помощью счета. Он бегал вверх и вниз по лестнице, чтобы увеличить частоту сердцебиений, и одновременно считал удары сердца и вел отсчет секундам. Они обнаружили, что Фейнман мог одновременно считать про себя и следить за временем, но если начинал говорить, то терял счет минутам. Тьюки же мог вести отсчет времени, декламируя вслух стихи. Они предположили, что, когда дело касалось счета, их мозг задействовал различные функции. Фейнман использовал акустический ритм, слушая числа, а Тьюки представлял что-то вроде ленты с написанными на ней цифрами, проносящимися перед глазами. Годы спустя Тьюки говорил: «Нас интересовал собственный опыт. Мы получали удовольствие от того, что испытывали, и сводили всё к простым вещам, которые могли наблюдать».

Порой что-то, лежащее за пределами научных знаний, привлекало внимание Фейнмана и буквально приставало к нему, как колючка от каштана. Один из студентов увлекся поэзией Эдит Ситуэлл, в то время считавшейся довольно эксцентричной из-за используемых ею вычурных сочетаний звуков и какофонии стихов, напоминавшей джазовые ритмы. Молодой человек продекламировал несколько стихотворений вслух, и внезапно Фейнман что-то уловил. Он взял книгу и принялся восторженно читать.

«Ритм — один из основных проводников между сном и реальностью, — говорила автор о собственных стихах. — В мире звуков ритм — то же самое, что свет в мире визуальных образов». Для Фейнмана ритм был и наркотиком, и инструментом. Его мысли иногда плавно перетекали и двигались, словно под удары барабана. Друзья замечали это, когда он начинал выбивать пальцами такт по столу или тетрадям. Ситуэлл писала:

> Вселенная расцветает в моей голове,
> Я живу наяву, но словно во сне.
> Мысли о мире и мысли о дне,
> О том, что все возможно, приходят ко мне.

Вперед или назад?

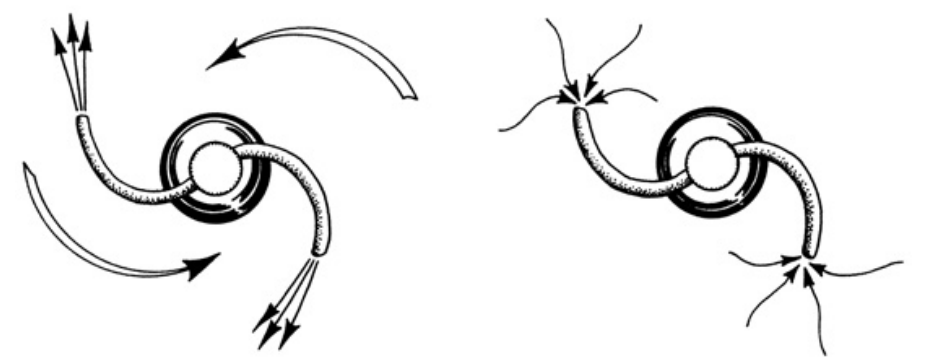
Какое-то время физики из Принстона и из Института перспективных исследований активно обсуждали за чаем принцип работы спринклера — поливочного разбрызгивателя S-образной формы, приспособления, вращающегося за счет поступающей в него воды. Точнее, физиков-ядерщиков, физиков, разрабатывающих квантовую теорию, и даже математиков волновал вопрос, что произойдет, если этот простой механизм поместить под воду и вместо того, чтобы разбрызгивать жидкость, заставить ее всасывать? Будет ли аппарат вращаться в обратном направлении из-за того, что направление потока воды изменилось на противоположное? Или же оно не изменится, потому что зависит от действия скручивающей силы, которая, в свою очередь, определяется формой изделия, изогнутого в виде буквы S? («Мне все ясно с первого взгляда», — несколькими годами позже сказал Фейнману один из его друзей. «Всем все ясно с первого взгляда, — ответил Фейнман. — Проблема в том, что одним с первого взгляда ясно одно, а другим — совершенно противоположное».)

Даже в век открытий простые вещи все еще могут удивлять. И совсем не обязательно нужно глубоко погружаться в осмысление ньютоновских законов физики, чтобы достичь дна на мелководье. Каждое действие вызывает равное ему по силе противодействие; именно таков был принцип работы спринклера — как и в ракете. Обратная задача заставила физиков задуматься над тем, насколько они понимают принцип работы механизма. Где именно проявляется противодействие? В форсунках? Или где-то в S-образном изгибе, где вода изменяла направление движения? Когда у Уилера спросили, что он думает по этому поводу, он ответил, что Фейнман накануне убедил его, что механизм будет вращаться в обратном направлении, однако сегодня Фейнман убедил его, что направление вращения не изменится, и поэтому он не может с уверенностью сказать, в чем Фейнман убедит его завтра.

Хотя наш ум — наиболее удобная для нас лаборатория, которая всегда под рукой, но, увы, она не самая надежная. Так как мысленный эксперимент не удался, Фейнман решил провести эксперимент с разбрызгивателем в мире физическом, используя металл и воду. Он изогнул отрезок трубы в форме буквы S и просунул через него резиновый шланг. Теперь нужен только удобный источник сжатого воздуха.

Физическая лаборатория Палмера при Принстонском

университете была укомплектована самыми разными приборами, однако все же по оснащенности недотягивала до лаборатории МТИ. Она состояла из четырех больших и нескольких маленьких лабораторий, занимавших целый этаж площадью более 8 тыс. кв. м. Мастерские были оборудованы электрическими зарядными устройствами, батареями, распределительными щитами, химическим инвентарем и дифракционными решетками. На третьем этаже располагалась лаборатория для работы с электрическим током при напряжениях до 400 кВ. В лаборатории низких температур стояли установки, позволявшие получать жидкий водород. Но больше всего Палмер гордился новым циклотроном, сконструированным в 1936 году. Фейнман узнал о нем на следующий день после приезда в Принстон, когда после чаепития с деканом бродил по помещениям лаборатории. Ему было любопытно сравнить его с более новым циклотроном Массачусетского технологического, который выглядел как безупречный футуристический шедевр из сверкающего металла с геометрически встроенными кругами. Когда руководство университета приняло решение вложиться в физику высоких энергий, оно ни в чем не ограничивало себя. Циклотрон Принстона поверг Фейнмана в шок. Ричард спустился в подвал Палмеровской лаборатории, открыл дверь и увидел свисающие с потолка, словно паутина, провода. С предохранительных кабелей капала вода. Инструменты валялись на столах. Вряд ли можно было придумать что-то, настолько не соответствующее Принстону. Ричарду вспомнилась его домашняя лаборатория, умещавшаяся в деревянном ящике в доме в Фар-Рокуэй.



Загадка поливочного разбрызгивателя. Распыляя воду, он вращается против часовой стрелки. Но что произойдет, если он будет всасывать воду?

Учитывая беспорядок, царивший в помещении, Фейнман решил, что он вполне может воспользоваться выходным

отверстием баллона с сжатым воздухом. Он присоединил к нему резиновый шланг, конец которого пропустил через большую пробку. Затем поместил свой миниатюрный разбрызгиватель в огромную стеклянную емкость, заполненную водой, и запечатал ее пробкой. Вместо того чтобы пытаться высасывать воду из трубки, Ричард решил закачать воздух в верхнюю часть бутылки. В результате давление воды увеличится, и она начнет затекать назад в S-образную трубку, вверх по резиновому шлангу, а затем вытекать из бутылки.

Он повернул клапан, подающий воздух. Аппарат слегка покачнулся, вода начала по каплям вытекать через пробку. Чем больше воздуха, тем сильнее вытекала вода, шланг начал трястись, но не вращался. Фейнман еще больше приоткрыл клапан. Емкость взорвалась. Вода пролилась, осколки стекла разлетелись по всему помещению. С того дня Фейнмана отстранили от работы в лаборатории.

Хотя эксперимент и был весьма отрезвляющим, в течение многих лет Фейнман и Уилер с удовольствием рассказывали историю о том, что, несмотря на тщательное рассмотрение вопроса, так и не нашли ответ на него. Тем не менее эксперимент Ричард провел абсолютно верно. Его интуиция в области, связанной с физическими явлениями, никогда еще не была столь явно выражена, как и способность переходить от реальных физических свойств к формальным математическим расчетам. Поставленный им эксперимент работал. До взрыва. В какую сторону будет вращаться разбрызгиватель? Он не будет вращаться вообще. Когда вода всасывается через форсунки, они сами не двигаются вдоль этого направления, как не перемещается веревка, по которой скалолаз подтягивается вверх, раз за разом подтягиваясь на руках. У них нет выигрыша в силе перед водой. И сама идея о том, что внутри изогнутой трубки будет, как крутящий момент, действовать сила, не имеет оснований. В обычном режиме работы спринклера вода разбрызгивается направленными струями. Действие и противодействие очевидны и измеряемы. Импульс струи воды, разбрызгивающейся в одном направлении, равен импульсу вращающейся в противоположном направлении форсунки (фактически третий закон Ньютона). Но когда вода всасывается, образования водяных струй не происходит. Выделенного потока воды нет; она попадает в форсунку без четкого направления (со всех направлений), поэтому не имеет конкретной точки приложения, и говорить о силе не приходится.

Создание индустрии развлечений в XX веке, в первую очередь это касается киноиндустрии, неожиданно способствовало

развитию техники мысленных экспериментов. Вполне естественно, что ученые в своих «ментальных лабораториях» теперь могли *прокручивать фильм назад*. Однако попытка «прокрутить назад» фильм, показывающий, как работает спринклер, оказалась бы неудачной. Если бы поток воды в нем можно было бы увидеть и мысленно представить, как протекает процесс в обратном направлении, он бы существенно отличался от того, что мы наблюдали бы в случае, когда воздух всасывается. Кинематографисты же были в восторге от новых возможностей, которые открывались перед ними, когда кусок целлулоидной пленки, помещенной в проектор, запускали в обратном направлении. Ноги ныряльщика появлялись из воды вслед за брызгами, которые оставались после прыжка. Огонь превращался в искры, из которых возникал новенький лист бумаги. Кусочки разбитой скорлупы яйца вновь соединялись вокруг дрожащего цыпленка[88].

Для Фейнмана и Уилера вопрос об обратимости процессов, происходящих внутри атомов, где спины и силы взаимодействия проявлялись более абстрактно, нежели в поливочном разбрызгивателе, оставался спорным. Хорошо известно, что уравнения, описывающие движение и столкновение объектов, решались одинаково, независимо от того, в каком направлении во времени развивается процесс. Они симметричны по отношению ко времени, по крайней мере в тех случаях, когда рассматривается взаимодействие нескольких объектов. Однако в реальной жизни время движется в одном направлении. Разбить яйцо или тарелку не составит труда, а вот сделать так, чтобы скорлупа снова стала целой, или восстановить тарелку из осколков наука не могла. Выражение «стрела времени»[89] уже стало популярным и использовалось в тех случаях, когда требовалось показать, что время течет в одном направлении. И хотя это его свойство кажется столь очевидным для человека, оно совсем неуловимо в уравнениях, описывающих физические процессы. Там, в уравнениях, переход из прошлого в будущее выглядел абсолютно идентично переходу из будущего в прошлое и «нет дорожных указательных знаков, которые сообщали бы, что это улица с односторонним движением», — сетовал Артур Эддингтон. Этот парадокс существовал всегда, по крайней мере со времен Ньютона, но теория относительности выдвинула его на первый план. Математик Герман Минковский, представив время как четвертое измерение, начал сводить понятия прошлого и будущего к статусу любой пары направлений: право-лево, верх-низ, вперед-назад. Физик, строивший его диаграммы, словно смотрел на все с точки зрения Бога. В пространственно-

временной картине линия, отражающая движение частицы во времени, просто есть, а прошлое и будущее существуют одновременно. Четырехмерное пространственно-временно*е* многообразие отображает всю бесконечность сразу.

Законы природы — это не правила, контролирующие трансформацию из одного состояния в другое. Они лишь описывают существующие модели во всем их разнообразии. Наше обычное восприятие не позволяет представить общую картину, и тем более нам сложно понять, что время имеет особое значение. Ведь даже у физика есть воспоминания о прошлом и надежды на будущее, и никакая пространственно-временн*а*я диаграмма не способна стереть различия между ними.

Философы, в чьей компетенции ранее находилось рассмотрение подобных вопросов, оперировали неизбежно устаревающим набором понятий. Их неспособность разобраться в проблеме проявлялась даже в том, какие наречия они использовали: *вечно, гипостатично, вневременно, ретроспективно*. Философы оказались совершенно не готовыми к тому, что физики внезапно уничтожили само понятие одновременности (в релятивистской вселенной утверждение о том, что два события произошли в одно и то же время, не означало ровным счетом ничего). С исчезновением одновременности стало терять первоначальный смысл и понятие последовательности, а причинная зависимость — вызывать сомнения, и ученые в большинстве случаев почувствовали, что они вправе рассматривать временны*е* вероятности, которые предыдущим поколениям показались бы надуманными.

Осенью 1940 года Фейнман вернулся к рассмотрению фундаментальной проблемы, которая интересовала его еще в студенческие годы. Можно ли избежать появления опасных бесконечностей при решении уравнения квантовой теории, если исключить вероятность того, что электрон действует сам на себя, то есть, по сути, исключив само понятие поля? К сожалению, к тому времени он выяснил, что что-то с этой идеей не так. Проблема заключалась в том, что обнаружили явление, которое можно было объяснить, только предполагая, что электрон воздействует сам на себя. Когда воздействуют на реальные электроны, они оказывают противодействие: при ускорении электрона его энергия уменьшается за счет излучения.

На самом же деле электрон испытывает сопротивление, называемое радиационной стойкостью или сопротивлением излучению, и, чтобы его преодолеть, требовалось дополнительное усилие. В радиотрансляционной антенне, излучающей энергию в виде радиоволн, сопротивление излучения компенсируется с

помощью тока, поступающего извне (по сути, это сопротивление есть коэффициент пропорциональности между квадратом протекающего в антенне тока и мощностью излучения). Сопротивление излучению мы наблюдаем, и когда раскаленные светящиеся предметы остывают. Именно поэтому одиночный электрон в атоме, находящемся в вакууме, теряет энергию, а потерянная им энергия излучается в виде света. Чтобы объяснить такое явление, физикам ничего не оставалось как предположить, что электрон оказывает воздействие сам на себя. Более того, это происходит, даже когда он находится в вакууме!

Однажды Фейнман появился в кабинете Уилера с новой идеей. Идея «нереальна», признался он, заметив, что до смерти устал от бесконечных попыток решить задачу, которую тот перед ним поставил, и поэтому решил действовать самостоятельно. Что будет, если допустить, что электрон в вакууме не излучает энергию, так же как дерево не шумит в пустом лесу? Что излучение возможно лишь в том случае, когда есть не только его источник, но и приемник? Фейнман представил вселенную, в которой имеется всего лишь два электрона: первый испытывает колебания, тем самым воздействуя на второй, в свою очередь, второй тоже начинает колебаться и воздействовать на первый. Он вычислил силу, с которой они воздействуют друг на друга, используя привычное уравнение поля Максвелла, но оказалось, что в такой вселенной с двумя частицами не должно быть никакого поля, если под полем понималась среда, в которой волны свободно распространяются.

Фейнман спросил Уилера: «Может ли такая сила, с которой один электрон воздействует на другой, а потом возвращается к первому, объяснить феномен сопротивления излучения?»

Уилеру идея понравилась. Это был тот самый подход, который позволял свести проблему к рассмотрению двух точечных зарядов и давал возможность попытаться выстроить теорию исходя из основных принципов. Но он сразу предвидел неверные результаты. Сила, с которой второй заряд будет действовать на первый, зависит от величины второго заряда, его массы и расстояния между зарядами (согласно закону Кулона). Но ни один из этих параметров не влияет на сопротивление излучения. Это замечание позже покажется Фейнману очевидным, но тогда его поразила проницательность преподавателя. Но была и еще одна проблема: Фейнман неверно объяснил задержку во времени при передаче силы от одной частицы к другой и обратно. Какое бы воздействие ни оказывалось на первую частицу, оно происходило бы слишком поздно, чтобы соответствовать во времени проявлению эффекта сопротивления излучения.

Фактически Фейнман понял, что он просто описывал разные явления, одно из которых — обычное отражение света. Он почувствовал себя глупцом.

Отставание во времени не учитывалось в общей теории электромагнетизма. Когда Максвелл ее разрабатывал, еще до появления теории относительности, казалось естественным предполагать (как и в теории Ньютона), что силы действуют мгновенно. Необходимо творческое воображение, чтобы понять, что Земля отклоняется от своей орбиты не потому, что Солнце находится в определенной точке сейчас, а из-за того, что Солнце находилось там восемь минут назад — время, необходимое для прохождения гравитационным полем сотен миллионов километров пространства. Таким образом, если Солнце исчезнет, то Земля будет двигаться по своей орбите еще восемь минут. Чтобы учесть идеи теории относительности, в уравнение поля следует внести изменения. Теперь, принимая во внимание, что скорость света конечна, в уравнениях следовало учитывать *запаздывающие* волны.

Вот тут-то и возникала проблема симметрии времени. Электромагнитные уравнения работали безупречно, если запаздывающие волны учитывались правильно. Они одинаково справедливы, когда знак времени изменялся с плюса на минус. Если представить физическое проявление такого математического выражения, то получалось, что существуют *опережающие* волны, то есть волны, которые принимались *до того,* как были излучены. Естественно, что физики предпочли иметь дело с запаздывающими волнами. Опережающие волны, распространяющиеся назад во времени, казались непонятными. При ближайшем рассмотрении они вели себя как обычные волны, но не распространяющиеся от источника, а сходящиеся в нем, как если бы круги от брошенного в воду камня двигались по направлению к центру, а не от точки, где камень погрузился в озеро. Снова фильм, проигрываемый назад. Поэтому, несмотря на математическую обоснованность, решение уравнений поля с учетом опережающих волн оставалось задачей не только не решенной, но и не особо актуальной.

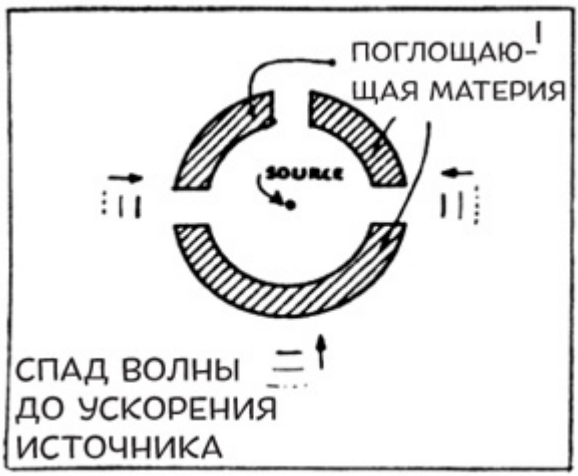
Уилер сразу же предложил Фейнману учесть в его модели с двумя электронами наличие опережающих волн. Что будет, если серьезно отнестись к тому, что уравнения симметричны по отношению ко времени? В этом случае излучение колеблющегося электрона будет симметрично во времени. Подобно маяку, посылающему световой сигнал одновременно на юг и на север, электрон может излучать волны как вперед, так и назад, как в будущее, так и в прошлое. Уилеру казалось, что благодаря

комбинированию с опережающими и запаздывающими волнами, которые смогли бы компенсировать друг друга, удалось бы объяснить отсутствие задержки во времени в феномене сопротивления излучения. (Подавление волн было хорошо изучено. В зависимости от того, совпадали ли они по фазе или нет, волны одинаковой частоты либо усиливали, либо ослабляли друг друга. Если их гребни и впадины точно совпадали, амплитуда волн удваивалась. Если гребень одной волны соответствовал впадине другой, тогда волны взаимно гасились. Это явление известно как интерференция волн.) Уилер с Фейнманом погрузились в расчеты и уже через час обнаружили, что и другие затруднения, похоже, также устранились. Энергия, возвращающаяся к исходному источнику, больше не зависела от массы, заряда или расстояния до другой частицы. По крайней мере, в первом приближении выполненные на доске Уилера черновые расчеты создавали такое впечатление.

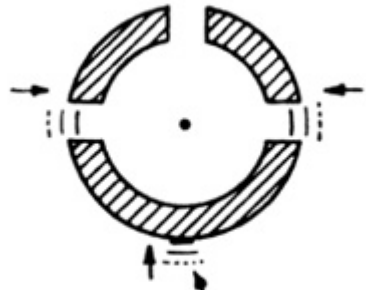
Учитывая возможности, которые предоставляла разработка этого варианта, Фейнман погрузился в работу. Его не смущала ее кажущаяся бессмысленность. По его первоначальным представлениям в нем не было ничего экстраординарного: воздействие на один заряд отразится на другом чуть позже. Новый подход, выраженный словами, казался парадоксальным: воздействие на один заряд отражалось на другом заряде *раньше*, чем происходило воздействие. Из этого определенно следовало, что действия по времени направлены вспять. Что же тогда будет причиной, а что следствием? Если бы Фейнман заподозрил, что он продирается сквозь эти дикие дебри только для того, чтобы в результате исключить самовоздействие электрона, он не стал бы развивать это направление. В конце концов, понятие самовоздействия создавало неопровержимое противоречие в квантовой механике, и буквально все физики считали эту задачу нерешаемой. Во всяком случае, возможность столкнуться с еще одним парадоксом в эпоху Эйнштейна и Бора никого не удивила. Фейнман же знал, что хороший физик никогда не говорит: «Ой, да ладно, как это может быть?»

Для выполнения работы требовалось проводить сложные вычисления, выводить и выверять уравнения, постоянно проверять их, чтобы убедиться, что очевидный парадокс не вылился в реальное математическое противоречие. Постепенно в основной модели стала рассматриваться не система из двух частиц, а система, в которой электрон взаимодействовал со множеством других «поглощающих» частиц. Это должна была быть вселенная, где любое излучение в конечном итоге достигало поглощающей его частицы. Оказалось, что благодаря этому

сгладились самые непонятные проявления обратного течения времени. Тем же, кто с предубеждением относился к тому, что следствия могут проявиться раньше, чем причины, их вызвавшие, Фейнман предлагал более приемлемую формулировку: энергия мгновенно «заимствуется» из вакуума и позже возмещается в таком же объеме. Излучало и поглощало эту энергию хаотичное множество частиц, двигающихся в разных направлениях таким образом, что практически всё их влияние друг на друга компенсировалось. Приемник излучения проявлял себя только тогда, когда электрон двигался с ускорением; в этом случае воздействие источника на абсорбер (приемник) и абсорбера на источник происходили бы одновременно и с одинаковой силой (с учетом сопротивления излучения). Таким образом, выдвинув только одно космологическое утверждение, что во вселенной во всех ее участках достаточно материи, способной поглотить исходящее излучение, Фейнман обнаружил, что система уравнений, в которой учитывались в равной степени опережающие и запаздывающие волны, выдерживала любые возражения.



II



ЭТИ СПАДАЮЩИЕ
ВОЛНЫ ПОГЛОЩАЮТСЯ

III

ДРУГИЕ СПАДАЮЩИЕ ВОЛНЫ
БУДУТ ДЕЙСТВОВАТЬ
НА ИСТОЧНИК В МОМЕНТ
УСКОРЕНИЯ

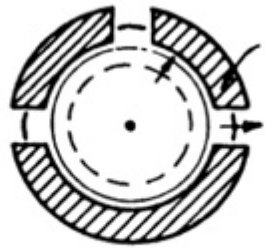
IV

ИСТОЧНИК, НА КОТОРЫЙ
ОКАЗЫВАЮТ ДЕЙСТВИЕ
(А) УЧАСТВУЮЩИЕ ЧАСТИЦЫ
ИЛИ ДРУГИЕ СИЛЫ,
(Б) СПАДАЮЩИЕ ВОЛНЫ

V

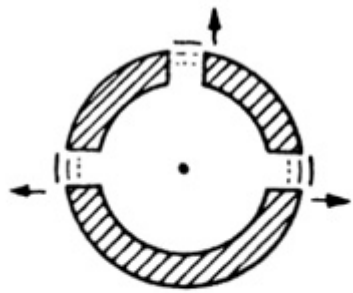
ИСТОЧНИК,
ИЗЛУЧАЮЩИЙ ВОЛНЫ

VI



НЕКОТОРЫЕ ИЗЛУЧАЕМЫЕ
ВОЛНЫ ПОГЛОЩАЮТСЯ

VII



ОСТАВШИЕСЯ ИСХОДЯЩИЕ
ВОЛНЫ ИСЧЕЗАЮТ НАВСЕГДА

Волны, распространяющиеся вперед и назад во времени. Уилер и Фейнман предприняли попытку разработать приемлемую схему взаимодействия частиц, но столкнулись с противоречием понятий «прошлое» и «будущее». На частицу оказывается действие, влияние которого распространяется подобно волнам от брошенного в воду камня. Для симметричности теории им пришлось бы использовать внутринаправленное волновое действие, идущее вспять во времени.

Они обнаружили, что неприятные парадоксы устранялись, потому что обычные и отложенные во времени волны («запаздывающие» и «опережающие») могли погасить друг друга, но лишь в том случае, если гарантировалось, что любое излучение будет где-нибудь когда-нибудь поглощено. Луч света, бесконечно распространяющийся в вакууме и никогда не достигающий абсорбера, перечеркнул бы все их теоретические расчеты. Таким образом, космологи и философы еще довольно долго придерживались своих представлений о времени, пока их место не заняли понятия, вытекающие из квантовой теории.

Фейнман описал теорию своим друзьям-аспирантам и предложил им найти парадокс, который сам не мог объяснить. Например, создать устройство с мишенью, которое закрывало бы ворота перед мишенью при попадании в нее частицы, но при этом опережающая волна закрывала бы эти ворота *перед* попаданием частицы, тогда частица не могла бы попасть в мишень, следовательно, опережающая волна не закрыла бы ворота… Он представил машину Руба Голдберга[90], которая вполне могла оказаться на страницах старинной книги Уилера о хитрых

механизмах.

Согласно расчетам Фейнмана, это идеальная модель. Пока в теории учитывались вероятности, в ней, казалось, не было критических несоответствий. До тех пор, пока существовали частицы, способные поглощать излучение, не имело значения, где располагался поглотитель и какую форму имел. Только при наличии в окружающей среде «дыр» — таких участков, в которых излучение могло распространяться вечно (то есть без поглощения), — могли возникнуть эффекты, когда излучение возвращалось к источнику до того, как было излучено.

У Уилера были свои причины продолжать развивать эту утопическую теорию. В представлении большинства физиков атом тогда состоял из трех несовместимых частиц: электронов, протонов и нейтронов, — а при изучении космических лучей ученые замечали признаки существования и других элементарных частиц. Это увеличивающееся количество частиц разрушало представление Уилера о простоте мира. Он хранил веру в теорию столь странную, что даже не решался ее с кем-либо обсуждать. Идея заключалась в том, что когда-нибудь теоретически можно будет доказать, что в конечном счете все состоит из одних только электронов. Он знал, что это безумие. Но если бы электроны были конечными строительными элементами нашей вселенной, свойства их излучения могли бы дать ключ к объяснению того, чего существующая теория объяснить не могла. На протяжении нескольких недель он настаивал, чтобы Фейнман написал предварительную статью. На случай создания великих теорий Уилер хотел быть уверенным, что они с Фейнманом изложили всё должным образом. В начале 1941 года он попросил Фейнмана выступить на февральском заседании кафедры, на которое обычно приглашались видные физики. Для Ричарда этот доклад стал бы первым профессиональным выступлением, и он очень нервничал.

Незадолго до заседания председатель Вигнер остановил Фейнмана в коридоре и сказал, что услышанного им от Уилера о теории поглощения достаточно для оценки ее важности, и так как он отдает себе отчет о ее значении для космологии, то пригласил на заседание великого астрофизика Генри Норриса Расселла. Математик Джон фон Нейман также собирался приехать. Свое присутствие подтвердил бесподобный Вольфганг Паули, прибывший с визитом из Цюриха. И даже сам Альберт Эйнштейн, редко проявлявший интерес к подобного рода семинарам, выразил интерес и собирался посетить заседание.

Уилер пытался успокоить Фейнмана, заверяя, что возьмет на себя вопросы аудитории. Вигнер давал советы. Если профессор

Расселл вдруг уснет, говорил Вигнер, не волнуйся, профессор Расселл всегда засыпает на подобных мероприятиях. Если Паули начнет кивать, это не значит, что он согласен — он кивает из-за нервного тика. Паули способен был безжалостно разгромить работу, которую счел бы поверхностной или недостаточно убедительной[91]. *Ganz falsch*, — говорил он, что означало «совершенный бред»; или еще хуже: *not even false* — «это не только неправильно, это даже не дотягивает до ошибочного!»

Фейнман тщательно готовился. Он собрал все записи и сложил их в коричневый конверт. Пришел в аудиторию заранее и исписал всю доску формулами. Когда писал, услышал позади мягкий голос. Это был Эйнштейн. Он пришел на лекцию и перед этим решил уточнить, не подскажет ли молодой человек, где здесь можно выпить чаю.

После выступления Фейнман почти ничего не помнил — только то, что руки его дрожали, когда он доставал записи из конверта. А потом сознание будто освободилось от всего лишнего, сконцентрировавшись на физике, и уже ничего больше не имело значения: ни важные персоны, ни повод, по которому они собрались. Паули действительно возразил, возможно, чувствуя, что использование опережающих потенциалов лишь вызывает нечто вроде математической тавтологии. И потом вежливо добавил: «Разве вы не согласны, профессор Эйнштейн?» И вновь Фейнман услышал этот мягкий, такой приятный голос, говорящий с немецким акцентом: «Нет, теория выглядит вполне вероятной, возможно, она не очень стыкуется с теорией гравитации, но и сама теория гравитации, в общем-то, не совсем ясно определена…»

Разумный человек

Время от времени Ричард испытывал нечто вроде «приступов чрезмерной рациональности». Когда это происходило, он начинал считать, что недостаточно только продолжать успешно заниматься наукой, проверять мамину чековую книжку, выверять собственный шаткий баланс (восемнадцать долларов на прачечную, десять долларов отправить домой…) или, пока ремонтируешь велосипед, читать друзьям лекции о том, как глупо верить в Бога или в сверхъестественное. Во время одного из таких «приступов» Фейнман («чтобы плодотворно использовать свое время», как написал он родным) стал составлять почасовой график всей своей деятельности, как научной, так и относящейся к отдыху, и обнаружил, что, как бы скрупулезно он ни подходил к задаче, все равно в графике оставались свободные от дел и занятий часы. «Часы, на которые не запланированы определенные занятия, но которые я собираюсь посвятить тому, что в тот момент будет мне необходимо или интересно; и не важно, буду я обдумывать решение определенной проблемы или изучать кинетическую теорию газов». Если существует заболевание, симптомом которого является вера в то, что можно логически контролировать непредсказуемую жизнь, то Фейнман страдал им наравне с хроническим несварением желудка. Даже Арлин Гринбаум, при всей ее разумности, могла вызвать в нем вспышки рациональности. Он с детства знал, насколько эмоциональны порой споры между мужем и женой. Даже его родители временами ссорились. Фейнману претило подобное выяснение отношений. Он не понимал, почему двое умных, любящих друг друга людей, жаждущих открытого общения, должны ссориться и спорить, и поэтому разработал план. Но прежде чем поведать о нем Арлин, изложил его своему другу-физику за гамбургером в закусочной около кольцевой развязки. План заключался в следующем. Когда Дик и Арлин разойдутся во мнениях по какому-то важному вопросу, они обсудят его, например, в течение часа. Если за это время они не придут к согласию, вместо того чтобы продолжать спор, кто-то один из них примет решение. И так как Фейнман старше и опытнее (как он объяснил), решение должен будет принимать он.

Его друг взглянул на него и рассмеялся. Он знал Арлин и знал, как всё произойдет на самом деле. Они поспорят час, Дик сдастся, и решать будет Арлин. План Фейнмана — отрезвляющий пример работы теоретического ума на практике.

Арлин стала чаще приезжать к нему. Они ужинали

с Уилерами и гуляли под дождем. Она как никто другой могла смутить Ричарда. Зная о его хрупком самолюбии, она его безжалостно дразнила, когда замечала, как он начинал волноваться из-за того, что могут подумать окружающие, как всё будет смотреться со стороны. Она прислала ему коробку карандашей с выбитой надписью «Дорогой Ричард, я люблю тебя! Путси», и как-то поймала Фейнмана за ее соскабливанием. Он боялся случайно оставить один из карандашей на столе профессора Вигнера. «Какое тебе дело до того, что подумают другие?» — говорила Арлин снова и снова. Она знала, как Ричард гордится своей честностью и независимостью, и старалась поддерживать эти чувства на том высоком уровне, который он сам установил для себя. Это стало краеугольным камнем их отношений. Как-то Арлин отправила ему открытку, написав на обратной стороне:

Если не нравлюсь тебе, дорогой,
Что ж тут сказать, черт с тобой.
Если карандаш злит тебя новизной,
Что ж, милый друг, ну и черт с тобой.
…
Если условности отнимают покой,
Если вдруг разум трубит отбой
И ведет тебя вслед за толпой,
Несчастный мой друг, черт с тобой.

Ее слова задевали за живое. Однако Арлин стало беспокоить состояние ее здоровья. Временами ее лихорадило, а на шее то появлялась, то исчезала какая-то припухлость. Ее дядя, врач, порекомендовал втирать в нее универсальное средство — омега-масло (именно такой способ лечения пользовался популярностью сто лет назад).

На следующий день после выступления на заседании кафедры Ричард отправился в Кембридж на собрание Американского физического общества. Арлин же поехала туда на поезде из Нью-Йорка. Ее встретил старый приятель Фейнмана по студенческому братству. По пути в МТИ они прошли по мосту и поймали конный экипаж. Ричарда они нашли в холле физического корпуса № 8. Он прошел мимо, оживленно беседуя с профессором. Арлин встретилась с ним взглядом, но он не признал ее. Она поняла, что лучше его не беспокоить.

Когда в тот вечер Фейнман вернулся в здание братства, он обнаружил Арлин в гостиной. Полный энтузиазма, он подхватил ее и закружил в танце. «Он определенно верит в общность

физиков», — заметил как-то один из его товарищей. С подачи Уилера Фейнман представил их работу по пространственно-временной электродинамике во второй раз, теперь перед более широкой аудиторией. Все прошло хорошо. После выступления перед Эйнштейном, Паули, фон Нейманом и Вигнером Американское физическое общество Ричарда не пугало. Но все же он опасался, что наскучит слушателям, читая с листа заготовленный текст. В конце выступления прозвучало несколько уместных вопросов, и Уилер помог ответить на них.

Фейнман сформулировал ряд принципов теории взаимодействия частиц и записал их:

> 1 Ускорение точечного заряда определяется только суммой его взаимодействий с другими заряженными частицами… Заряд не действует сам на себя.
>
> 2 Силу взаимодействия, с которой один заряд действует на другой, можно рассчитать по формуле силы Лоренца, в предположении, что поля создаются первым зарядом, в соответствии с уравнением Максвелла.

Сформулировать третий принцип оказалось сложнее. Фейнман попробовал:

> 3 Фундаментальные уравнения инвариантны относительно изменения знака времени.

И потом, более точно:

> 3 Фундаментальные (микроскопические) явления в природе симметричны (инвариантны) по отношению к чередованию прошлого и будущего.

Паули, несмотря на свой скептицизм, оценил важность третьего принципа. Он обратил внимание Фейнмана и Уилера на то, что еще Эйнштейн упоминал о симметрии прошлого и будущего в своей малоизвестной работе 1909 года. Уилер действовал решительно. Он позвонил и договорился о встрече в отделанном белым сайдингом доме № 112 по Мерсер-стрит[92].

Эйнштейн благожелательно встретил двух молодых амбициозных физиков, как принимал и большинство ученых, посещавших его. Они прошли в кабинет, где Эйнштейн сидел за столом. Фейнман поразился, насколько точно реальность соответствовала легендам. Перед ними сидел приятный мягкий человек. На нем был свитер без рубашки и туфли без носков. Все знали, что Эйнштейна огорчали не имеющие явно выраженных

причин нестыковки в квантовой механике. Сам же он последнее время по большей части писал длинные нудные письма мировым лидерам, в которых выглядел скорее чудаком, чем почитаемым ученым. Неприятие новой физики выставляло его, как он сам говорил, «упрямым еретиком» и «человеком закостенелым, оглохшим и ослепшим с годами». Но теория, представленная Уилером и Фейнманом, тогда еще не была квантовой теорией. В ней использовались только классические уравнения поля без квантово-механических поправок, которые, и Уилер с Фейнманом знали это, потребуется ввести в дальнейшем. Так что Эйнштейн не увидел никаких нестыковок и заметил, что и сам признавал существование запаздывающих и опережающих волн, и даже припомнил небольшую статью, опубликованную в 1909 году, в которой выразил свое несогласие со швейцарским коллегой Вальтером Ритцем. Ритц утверждал, что правильная теория поля должна учитывать только запаздывающие волны, а опережающие волны следует признать недопустимыми, какими бы безобидными ни выглядели уравнения. Эйнштейн же не видел никаких причин исключать опережающие волны. Он считал, что основные уравнения не позволяют объяснить существование стрелы времени, которое на самом деле было обратимым.

Этого же мнения придерживались и Фейнман с Уилером. Их утверждение о симметрии прошлого и будущего привело к тому, что опережение и запаздывание стало казаться возможным. Но и в их теории присутствовал элемент асимметрии: запаздывающие поля играли более важную роль, чем опережающие. Однако эта асимметрия никак не проявлялась в уравнениях. Ее появление обусловливалось тем, что близлежащие абсорберы располагались беспорядочно и хаотично, а стремление к беспорядку — самое универсальное проявление стрелы времени (согласно второму закону термодинамики). Фильм, показывающий, как капля чернил растворяется в стакане воды, казался нелепым, когда его прокручивали назад.

Но в то же время фильм, отслеживающий микроскопическое перемещение любой молекулы чернил, будет смотреться одинаково, независимо от того, как он воспроизводится — как обычно или в обратном направлении. Случайные движения каждой отдельной молекулы чернил обратимы, но общая диффузия — нет. То есть система обратима на микроскопическом уровне и необратима на макроскопическом. Все дело в хаосе и вероятностях. В принципе, можно допустить, что отдельные, свободно перемещающиеся молекулы чернил могут сформировать каплю. Однако вероятность этого события ничтожно мала. Во вселенной Фейнмана и Уилера точно таким

же невероятным стало предположение, что беспорядок в абсорбере определяет направление течения времени. Фейнман попытался обстоятельно объяснить эту гипотезу, изложив ее на 22 страницах работы, написанной в начале 1941 года. Он отметил, что необходимо различать два вида необратимости. Последовательность природных явлений будет считаться микроскопически необратимой, если последовательность явлений в обратном временном порядке не может осуществиться с точностью до мельчайших деталей. Если же в макромасштабе вероятности возникновения исходной последовательности и последовательности, обратной ей во времени, различаются на порядок, то явление будет считаться макроскопически необратимым… Авторы этой работы считают, что все физические явления микроскопически обратимы и что все явно макроскопические — необратимы.

Даже сейчас принцип обратимости ошеломляет и кажется сомнительным, потому что идет вразрез с ощущением однонаправленного течения времени, которое ввел в науку Ньютон. Фейнман же последним своим предложением привлек внимание Уилера. «Профессор Уилер, — написал он, после чего самонадеянно зачеркнул слово “профессор”, — это довольно масштабное утверждение. Возможно, вы с ним не согласитесь. Р. Ф. Ф.».

Уилер тем временем проштудировал литературу и обнаружил несколько неявных прецедентов их модели поглощения. Сам Эйнштейн отмечал, что немецкий физик Хьюго Тетрод предположил в работе, опубликованной в журнале Zeitschrift für Physik в 1922 году, что излучение следует рассматривать в контексте взаимодействия источника и поглотителя: нет поглотителя, нет излучения.

«Солнце не сияло бы, если бы оно было единственным космическим телом и никакие другие тела не могли поглотить его излучение… Если, например, я вчера вечером рассматривал через телескоп звезду, находящуюся на расстоянии 100 световых лет, то получается, что не только свет, который достиг моих глаз, был излучен сто лет назад, но и сама звезда или ее отдельные атомы уже сто лет назад знали, что тот, кто тогда даже не существовал, будет рассматривать ее вчера вечером в определенное время».

Более того, невидимое послание от далекой сверхзвезды (что в 20-х годах прошлого века казалось совершенно невероятным), излучение, произошедшее даже не десять, а сотни миллиардов лет назад, свободно преодолевающее Вселенную в течение большей части периода ее существования до момента

столкновения с полупроводниковым приемником гигантского телескопа, также не могло произойти без взаимодействия с поглотителем. Тетрод заметил: «На последних страницах мы позволили нашим гипотезам выйти далеко за рамки математических доказательств». Уилер нашел в литературных источниках и другое странное, но довольно провокационное замечание, принадлежавшее Гилберту Льюису, специалисту в области физической химии, который придумал слово *фотон*. Льюиса тоже беспокоило, что в физике не рассматривается симметрия прошлого и будущего, подразумеваемая ее фундаментальными уравнениями. А с его точки зрения такая симметрия давала основание предполагать, что в процессе излучения источник и поглотитель симметричны.

«Рискну предположить, что атом никогда не излучает свет, если не существует другой атом, — писал Льюис. — Представить испускаемый атомом свет, если нет другого атома, поглощающего этот свет, так же абсурдно, как представить, что существует атом, поглощающий свет, без источника излучения. Я предлагаю отказаться от представления о том, что происходит просто излучение света, и вместо него ввести понятие трансмиссии или процесса обмена энергиями между двумя атомами».

Фейнман и Уилер продолжали развивать теорию. Они хотели понять, где еще можно ее применить. Многие попытки ни к чему не привели. Они работали над проблемой гравитации, надеясь свести гравитацию к аналогичному взаимодействию. Они попытались создать модель без пространства как такового: никаких координат, расстояний, геометрии или размерности, — только непосредственно взаимодействия. Все эти направления оказались тупиковыми. Однако один из параметров по мере развития теории приобрел исключительное значение. Оказалось, что можно вычислять взаимодействие между частицами, используя принцип наименьшего действия.

Фейнман, когда еще учился на первом курсе в МТИ, считал ниже своего достоинства применять именно этот подход. В соответствии с принципом наименьшего действия можно не вычислять траекторию летящего мяча в последовательные моменты времени, а исходить из утверждения, что мяч будет двигаться по траектории, при которой действие, то есть разница между кинетической и потенциальной энергиями мяча, будет минимальным. В теории поглощения, так как поле более не являлось независимым физическим объектом, действие частицы становилось параметром, который можно определить, рассчитать, учитывая движение частицы. И снова, как по волшебству, частицы выбирали путь с наименьшим действием. Чем чаще Фейнман

использовал метод наименьшего действия, тем больше убеждался, насколько оригинальна физическая точка зрения. При традиционном подходе течение времени описывается дифференциальными уравнениями, отражающими его изменения в каждый момент. Использование принципа наименьшего действия позволяло сразу же «с высоты птичьего полета» увидеть весь путь, пройденный частицей. «У нас есть нечто, — позже говорил Фейнман, — что позволяет описать характерные особенности траектории частицы во времени и пространстве. Поведение природы в целом определяется тем, что у пространственно-временно*й* траектории есть определенные особенности». Если во время учебы этот принцип казался слишком примитивным, слишком далеким от настоящей физики, то теперь он выглядел невероятно прекрасным и не таким уж абстрактным. Но концепция света в тот период еще не сформировалась окончательно — вроде бы и не частица, но и не вполне волна — и продолжала вызывать споры из-за теоретически нерешенных вопросов квантовой механики. Физики стали знать намного больше с тех пор, как Евклид записал первый принцип своей «Оптики»: «Лучи, испускаемые человеческим глазом, распространяются по прямой».

Представление физиков о пустом пространстве как о чистой грифельной доске, на которой каждое движение, каждая сила, каждое взаимодействие оставляли отпечаток, претерпело значительную трансформацию менее чем за одно поколение. Мяч перемещался по траектории в обычном трехмерном пространстве. Фейнмановские частицы выбирали траекторию своего движения не просто в четырехмерном пространстве-времени, без которого не могла обойтись теория относительности, но в пространстве более абстрактном, оси координат которого учитывали не расстояние и время, а другие параметры.

В четырехмерном пространстве-времени даже неподвижная частица двигалась по траектории от прошлого к будущему. Для такой траектории Минковский ввел понятие *мировой линии* — «своеобразного изображения бесконечного движения фундаментальной точки, кривой в мире… И вся Вселенная в итоге сводилась к этим мировым линиям». Писатели-фантасты уже начали представлять странные последствия переплетения мировых линий, идущих из будущего в прошлое, но все же никому из них не удалось в своих фантазиях зайти так далеко, как Уилеру. Однажды он позвонил Фейнману на телефон, установленный в холле аспирантуры. Позднее Ричард так вспоминал их разговор:

— Фейнман, я знаю, почему у всех электронов одинаковый

заряд и масса.

— Почему?

— Потому что они все — один и тот же электрон! Предположим, что все мировые линии, которые мы обычно рассматривали во времени и пространстве, связаны в огромный узел. Но если взять плоское сечение этого узла, соответствующее фиксированному времени, мы увидим огромное множество мировых линий, которые будут отражать много электронов, за исключением одного. И если в одном сечении обычному электрону соответствует одна мировая линия, то в том сечении, где он двигается в противоположном направлении и возвращается из будущего, мы получим другой знак… и поэтому на этой части линии он будет вести себя как позитрон.

Позитрон, двойник-античастицу электрона, обнаружили (в космических лучах) в последнее десятилетие: он получил свое название от сокращения выражения «позитивно заряженный электрон». Это первая античастица, подтверждающая предположение Дирака, верившего, что за красотой уравнений что-то стоит. Согласно волновому уравнению Дирака, энергия частицы составляла ±√чего-то. Вот из этого знака плюс-минус и возникло предположение о существовании позитрона. Решение этого уравнения для знака плюс позволяло рассчитать характеристику электрона. Дирак упрямо противостоял искушению опустить решение с минусом перед корнем как математический нюанс. Как и Уилер, следовавший своей концепции опережающих волн, он придерживался мнения, что зеркальное изменение знаков имеет под собой физическое обоснование.

Фейнман обдумал это услышанное по телефону более чем странное предположение о том, что все сущее — это срез длинной макаронины, по которой движется электрон, и предложил встречные аргументы. Движения вперед и назад, казалось, не совпадали. Вышивальная игла, просовывающая нить туда-сюда через ткань, должна пройти равное количество движений в оба направления.

— Но, профессор, позитронов не так много, как электронов.

— Ну, возможно, они скрыты в протонах или еще где.

Уилер по-прежнему пытался представить электрон как основу всех остальных частиц. Фейнман пропустил это мимо ушей. Разговор о позитронах, тем не менее, кое-что напомнил ему. В своей первой работе (опубликованной за два года до этого) он рассматривал вопросы, связанные с рассеянием звездами космических лучей, и уже проводил эту аналогию, представляя античастицы как обычные частицы, но движущиеся в

противоположном направлении в пространстве. Так почему бы во вселенной Минковского не существовать обратному направлению во времени, если есть обратное направление в пространстве?

Мистер Икс и природа времени

Двадцать лет спустя, в 1963 году, когда секреты времени все еще оставались нераскрытыми, в Корнеллском университете прошла встреча двадцати двух ученых, собравшихся для обсуждения этого вопроса. Среди них были физики, космологи, математики, философы. Их интересовало, что представляет собой время: есть ли это некий параметр, используемый в учебниках и уравнениях для того, чтобы определить его количество *до* и *после*? Или это всеохватывающий поток, уносящий за собой всё, словно вечная река? Что такое «сейчас»? Эйнштейна тоже волновал этот вопрос, он признавал неприятную возможность того, что настоящее — всего лишь порождение человеческого ума, которое наука не в состоянии объяснить. Философ Адольф Грюнбаум утверждал, что обычное понятие текущего вперед времени не что иное, как иллюзия, своего рода «псевдоконцепция». Если нам как разумным существам кажется, что события «просто происходят», то это всего-навсего своеобразное следствие существования разумных существ, «организмов, *концептуально воспринимающих* (или воображающих) эти события». Физикам же не стоило беспокоиться об этом слишком сильно.

Когда Грюнбаум закончил выступление, один из присутствующих, страстный противник любых философских или психологических неопределенностей, начал допрос с пристрастием. В опубликованной версии этого разговора собеседника назвали Мистером Икс, но провести никого не удалось. К тому времени скрывавшийся за фасадом таинственности Фейнман вызывал такие же подозрения, как американский госсекретарь, которого назвали бы «старшим официальным лицом на борту самолета госсекретаря».

ГРЮНБАУМ. Я хочу сказать, что есть разница между разумным существом и неразумным.

ИКС. В чем она проявляется?

ГРЮНБАУМ. Ну, довольно сложно выразить это словами. В общем, если компьютер останется без работы, я не буду сильно переживать. А вот если без работы останется человек, мне, безусловно, не будут безразличны страдания человека, осознающего свое положение в силу концептуальности своего самосознания.

ИКС. Собаки разумные?

ГРЮНБАУМ. В общем, да. Вопрос, насколько. Но могут ли они быть *осознанными?*

ИКС. А тараканы разумны?

ГРЮНБАУМ. Мне ничего не известно о нервной системе тараканов.

ИКС. Во всяком случае, по поводу трудоустройства они точно не переживают.

Фейнману казалось, что надежность концепции понятия «сейчас» не должна зависеть от сомнительных представлений ментализма. Человеческий ум — тоже проявление законов физики, заметил он. Какая бы скрытая сторона мозга ни создала эти «просто происходящие» события, о которых говорил Грюнбаум, пришлось бы соотносить события, происходящие в двух областях пространства: в той, что находится внутри черепной коробки, и в той, которая отражается на «пространственно-временных диаграммах». Теоретически это означает, что пришлось бы развить чувство текущего момента в достаточно сложном механизме, заключил Мистер Икс.

Ощущение текущего момента у каждого человека весьма субъективно, условно и может по-разному трактоваться, особенно в эпоху теории относительности. «Сказать, что любое конкретное значение *t* можно рассматривать как «сейчас», довольно просто, и это не будет ошибкой. Но такой подход совершенно не соответствует опыту, — заметил физик Дэвид Парк. — Если мы живем, отслеживая только то, что происходит вокруг, наше внимание концентрируется на одном моменте времени. И в этом случае сейчас — это момент, когда мы думаем о том, о чем думаем, и делаем то, что делаем». Именно поэтому большинство философов не очень-то жалует эту концепцию. Фейнман в подобного рода спорах занимал всегда довольно четкую позицию, отвергая идею о том, что сознание человека особенное. Он и другие серьезные ученые, имеющие опыт решения задач квантовой механики, обнаружили, что они вполне могут жить, допуская возможность существования некоторой неопределенности, то есть имея в виду, что *сейчас* у разных наблюдателей будет отличаться по скорости и продолжительности. Технологии позволили конкретизировать это определение хотя бы в качестве аргумента: гораздо более объективен момент *сейчас*, запечатленный на фотоснимке или в вычислительной машине. Присутствовавший на встрече в Корнелле Уилер привел пример с зенитной пушкой. Ее *сейчас* как определенный временной интервал содержит не только ближайшее прошлое — те несколько мгновений, когда информация поступала с радаров; но и ближайшее будущее — самолет-цель, положение которого определяется экстраполяцией имеющихся данных.

Подобным образом и наши воспоминания представляют собой сочетание прошлого и ожидаемого момента в будущем, живое сочетание, а не бесконечно малое неопределенное мгновение, которое навсегда станет недосягаемым. Это и есть наше *сейчас*. Уилер процитировал слова Белой Королевы из «Алисы в Зазеркалье»: «Неважная память, она работает только в обратную сторону».

На этой стадии работы над теорией абсорберов излучения Уилера и Фейнмана уже не интересовали отдельно расположенные частицы, но их теория занимала центральное место в многогранном понимании времени. Их интересовали обратимые и необратимые процессы, что и послужило основой для трех разных подходов к пониманию течения времени — стрелы времени. Но если физиков в тот момент теория поглотителей не интересовала, новое поколение космологов взяло ее на вооружение. В этой области происходил переход от простого анализа астрономических данных, полученных в результате наблюдений за звездами, к постановке грандиозных вопросов о Вселенной: каким образом и почему она возникла. Космология начала выделяться среди современных наук не столько как целиком и полностью самостоятельное научное направление, сколько как область, в которой смешивались философия, искусство, вера и небольшая толика надежды. Слишком мало окон, позволяющих смотреть сквозь густую атмосферу. Несколько хитроумных устройств, расположенных на вершинах гор, несколько радиоантенн — и все же ученые верили, что могут заглянуть далеко или высказать обоснованные предположения, позволяющие раскрыть происхождение пространства и времени. Уже тогда их пространство не было плоским, не имело ничего общего с той нейтральной средой, какой представляло его поколение, не знавшее трудов Эйнштейна. Это была пугающе пластичная среда, в которой непонятным образом были сосредоточены и время, и гравитация. Кто-то, хотя и не все, полагал, что в результате Большого взрыва, произошедшего десять или пятнадцать миллиардов лет назад, пространство начало расширяться с довольно высокой скоростью. Уже нельзя с уверенностью утверждать, что Вселенная везде одинакова, бесконечна и статична. Это уже не Вселенная Евклида, однородная и нестареющая. Мир больше не бесконечен. Аминь. Ярчайшим доказательством расширения Вселенной в 1963 году по-прежнему считалось открытие, сделанное Эдвином Хабблом еще в 1929 году: другие галактики неумолимо отдаляются от нашей, и чем дальше, тем с бо́льшей скоростью. Будет ли это расширение происходить вечно, или что-то изменится — этот

вопрос был и будет оставаться еще долгое время открытым. Возможно, Вселенная рождалась и умирала снова и снова в бесконечном цикле.

Вопрос касался самой природы времени. Время учитывалось в уравнениях, описывающих взаимодействие частиц, в результате которого происходит возникновение и рассеяние света. Если посмотреть на время с точки зрения Уилера и Фейнмана, связь между этими микроскопическими взаимодействиями и процессом расширения Вселенной очевидна. Как сказал Герман Бонди[93] в начале встречи: «Этот процесс приводит нас к темному ночному небу, к нарушению равновесия между материей и излучением и к тому факту, что излучаемая энергия эффективно теряется… Мы признаём, что существует очень тесная связь между космологией и основной структурой нашей физики». Дерзость в создании теории движущихся вперед и назад частично опережающих и частично запаздывающих волн привела Уилера и Фейнмана к еще более решительным космологическим допущениям. Если уравнения должным образом скорректировать, из них следовал вывод о том, что любое излучение в конечном итоге где-то поглощается. Возможность того, что пучок света будет распространяться вечно и бесконечно и в будущем никогда не столкнется с материей, которая могла бы поглотить его, противоречила их допущению, то есть их теория могла быть верной только для конечной Вселенной. В бесконечно расширяющейся Вселенной материя могла бы стать настолько разреженной, что свет перестал бы поглощаться.

Физики научились различать три стрелы времени. Фейнман описал их следующим образом: термодинамическая, или «случайная жизненная» стрела; излучательная, или «опережающая/запаздывающая» стрела; и космологическая стрела. Он предлагал представить три физических образа: аквариум, заполненный наполовину синей, наполовину прозрачной водой; антенну, которая и поглощает, и излучает; и удаленные туманности, двигающиеся вместе или по отдельности. Общие черты между примерами есть общие черты между соответствующими стрелами. Если запись показывает, как вода в аквариуме все больше перемешивается, означает ли это, что антенна излучает сигнал, а туманности отдаляются друг от друга? Может ли какой-либо из видов времени быть доминирующим? Слушатели могли лишь строить догадки. Этим они, собственно, и занимались.

«Довольно интересно, — произнес Мистер Икс. — С точки зрения физики законы свидетельствуют о вероятности существования множества вселенных, в то время как описать мы

можем лишь одну».

Наименьшее действие в квантовой механике

Омега-масло не помогало Арлин: опухоль не рассасывалась, температура не спадала. Ее положили в больницу Фар-Рокуэй с подозрением на брюшной тиф. Как у человека науки, у Фейнмана стали возникать мысли о беспомощности медицины. Он полагал, что научный подход позволяет хладнокровно и взвешенно оценивать любые непростые ситуации, но не эту. В то же время медицина относилась к той области знаний, которую он считал своей. Медицина была наукой. Одно время даже отец Ричарда интересовался одним из ее направлений. Фейнман стал изучать физиологию, основы анатомии. Он прочитал о брюшном тифе в Принстонской библиотеке, и, когда в очередной раз пришел навестить Арлин в больнице, стал расспрашивать доктора. Сделали ли пробу Видаля? Да. Каковы результаты? Отрицательные. Тогда откуда убеждение, что это тиф? Почему все посетители Арлин должны носить медицинские халаты, защищаясь от предполагаемых бактерий, которых не смог выявить даже чувствительный лабораторный тест? Какое отношение к тифу имеют непонятные опухоли, то появляющиеся, то исчезающие на шее и подмышками? Врача возмутили подобные расспросы. Родители Арлин заметили, что статус жениха не дает Ричарду права вмешиваться в процесс лечения. Он отступил. Арлин, казалось, пошла на поправку.

Тем временем Фейнман и Уилер готовились сделать решающий шаг в развитии своих теоретических разработок. До этого времени, несмотря на свою современность и акаузальность (внепричинность), это была все еще классическая, а не квантовая теория, где объекты рассматривались как физические тела, а не как абстрактные вероятности. Энергия изменялась непрерывно, в то время как из квантово-механических представлений вытекало, что волновые пакеты совершают бесконечно малые дискретные скачки при четко определенных условиях. Проблема собственно энергии так же остро стояла в классической электродинамике, как и в квантовой теории. Появление в уравнениях нежелательных бесконечностей сопутствовало квантованию: бесконечности возникали, стоило только предположить существование точечного электрона. Это было так же очевидно, как деление на ноль. Фейнман чувствовал, что разумно начинать с рассмотрения классического варианта, а потом уже применять к нему подход квантовой электродинамики. Стандартные способы перевода классических моделей в современные квантовые аналоги уже существовали. Один из них предполагал заменить все классические выражения для импульса

более сложными квантово-механическими аналогами. Проблема в том, что в теории Уилера и Фейнмана не было импульсов. Фейнман устранил их, когда выстраивал упрощенную модель, в основу которой был заложен принцип наименьшего действия.

Время от времени Уилер говорил Фейнману, чтобы тот перестал утруждать себя обдумыванием этой задачи, что он уже ее решил. Позже, весной 1941 года, он зашел так далеко, что даже запланировал презентацию квантовой теории на коллоквиуме физиков в Принстоне. Паули, подозрительный и сомневающийся, выспрашивал Фейнмана по пути в библиотеку Палмера, о чем собирался рассказать Уилер. Ричард ответил, что не знает.

«О, — протянул Паули, — профессор не говорит своему ассистенту, как он решил задачу? Может быть, профессор и не нашел никакого решения».

Паули оказался прав. Уилер отменил выступление. Однако он не растерял энтузиазма и запланировал не одну публикацию, а целую серию из пяти статей. Фейнман тем временем работал над своей докторской. Он решил подойти к квантованию теории так же, как подходил к решению сложных задач, когда учился в МТИ, разбирая все случаи на простейшие задачи. Он попытался рассчитать взаимодействие пары объединенных гармонических осцилляторов с задержкой во времени как пары идеальных пружин. Одна из пружин начинает колебаться, посылая простую синусоидальную волну. Другая должна отразить ее, и в результате такого взаимодействия образовывалась бы новая волна. Фейнман достиг определенного прогресса, разрабатывая это направление, но не смог понять, как применить в этом случае квантовую версию. Он рассматривал слишком упрощенный вариант.

В традиционной квантовой механике для перехода от настоящего к будущему необходимо решить дифференциальные уравнения, руководствуясь принципом Гамильтона. В таких случаях физики говорили: требуется «найти Гамильтониан[94]» системы. Если определить его удавалось, можно было двигаться дальше, в противном случае они оставались ни с чем. По мнению Уилера и Фейнмана, в случае непосредственного воздействия на расстоянии исходить из принципа Гамильтона было нельзя. И связано это было с задержками во времени. Недостаточно дать полное описание настоящего: расположение, импульсы и другие параметры. Не предугадать, в какой момент отсроченный эффект из прошлого (или, в случае Уилера и Фейнмана, из будущего) изменит существующую картину. Поскольку прошлое и будущее взаимосвязаны, привычные дифференциальные уравнения не работали. Применение альтернативного метода Лагранжа

становилось уже не роскошью, а необходимостью.

Прокручивая в голове подобные мысли, Фейнман отправился на пивную вечеринку в одну из таверн на Нассау-стрит. Он сидел за одним столиком с незадолго до этого приехавшим из Европы физиком Гербертом Джелом, учившимся в Берлине у Шрёдингера. Джел был квакером, прошел через два концлагеря в Германии и во Франции. Американское научное общество гостеприимно принимало таких беженцев, и потрясения, которые переживала Европа, ощущались теперь довольно близко. Джел спросил Ричарда, над чем тот работал. Фейнман объяснил и в свою очередь поинтересовался, известно ли Герберту что-либо о применении принципа наименьшего действия в квантовой механике.

Конечно, Джел знал об этом. Он рассказал, что Дирак, которым Фейнман так восхищался, опубликовал об этом статью лет восемь назад. На следующий день Джел и Фейнман нашли ее в библиотеке в подшивках Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion. Статья была довольно короткой и называлась «Функция Лагранжа в квантовой механике». Дирак разработал начальный этап использования метода наименьшего действия именно в том стиле, который искал Фейнман, способ определения вероятности полного пути частицы во времени. Дирак рассматривал только один частный случай — перенос волновой функции во времени на бесконечно малую величину (на мгновение).

Бесконечно малые промежутки времени были слишком малы, но стали отправной точкой для вычислений. Это ограничение не волновало Фейнмана. Во время просмотра статьи он снова и снова сталкивался со словом *аналог*. «Очень простой квантовый аналог, — писал Дирак. — У них есть классические аналоги… Теперь очевидно, каким должен быть квантовый аналог всего этого». «Что это за слово в научной статье?» — думал Фейнман. Если два выражения аналогичны, значит ли это, что они равны?

«Нет, — сказал Джел. — Дирак, конечно, не имел в виду, что они равны». Отыскав доску, Фейнман принялся работать с формулами. Джел оказался прав: они не были равны. Поэтому он попробовал ввести в формулы константу. Джел не успевал следить за ним, с такой скоростью Ричард выполнял расчеты: заменял свободные члены уравнений, перепрыгивал с одного уравнения на другое и вдруг вывел нечто до боли знакомое — уравнение Шрёдингера[95]. Оказалось, что существует связь между фейнмановской формулировкой, использовавшей подход Лагранжа, и стандартной волновой функцией квантовой механики. Неожиданно, но под *аналогом* Дирак подразумевал *пропорциональность*.

Теперь уже Джел достал свой маленький блокнот и стал поспешно переписывать все с доски. Он сказал Фейнману, что вряд ли Дирак имел в виду именно это. С такой точки зрения идея Дирака выглядела исключительно метафорической. Англичанин и не предполагал пользу метода. Джел заметил Ричарду, что тот сделал важное открытие. Его поражал невозмутимый прагматизм фейнмановского подхода к математике, так не похожий на отстраненный, эстетский взгляд Дирака. «Вы, американцы, — заключил он, — всему всегда пытаетесь найти практическое применение».

Аура необыкновенного человека

В тот период способности Ричарда Фейнмана раскрывались быстрыми темпами и приближались к своему пику. В двадцать три года он еще оставался застенчивым, и всего лишь несколько лет отделяло его от того времени, когда он смог словно ястреб с высоты увидеть физику во всей ее широте. Но уже тогда на земле не было другого физика, способного так же виртуозно распоряжаться теоретическими научными знаниями. Он не просто использовал математику, хотя всем в Принстоне было очевидно, что математическая составляющая теории Уилера — Фейнмана лежала далеко за пределами знаний Уилера. Фейнман, казалось, как и Эйнштейн в его возрасте или советский физик Лев Ландау и еще совсем немногие, с непринужденной легкостью схватывал суть того, что стояло за уравнениями. Он был скульптором, который даже во сне ощущал глину, оживающую в его руках. Студенты и преподаватели, спускаясь в холл выпить послеполуденный чай, думали о встрече с Фейнманом. Они с нетерпением ждали, когда он начнет по-доброму подтрунивать над Тьюки и другими математиками, полусерьезно жонглируя физическими теориями. Пересказывая их, он всегда задавал вопросы, которые, казалось, пробивались к самой сути. Экспериментатор Роберт Уилсон, прибывший в Принстон из Беркли, где работал в знаменитой лаборатории Эрнеста Лоуренса, всего несколько раз пересекался с Фейнманом, но тем не менее нисколько не сомневался в том, что тот — великий человек.

Вокруг Фейнмана уже сформировалась своеобразная аура необыкновенного человека, но таким его знали лишь в ближайшем окружении. Ричард тогда только заканчивал второй год обучения в аспирантуре. Он по-прежнему не проявлял никакого интереса к основной литературе и отказывался читать даже работы Дирака и Бора. Теперь он это делал преднамеренно. Готовясь к устному квалификационному экзамену, сдавать который предстояло всем аспирантам, Фейнман решил не заучивать основные принципы физики. Вместо этого он вернулся в Массачусетский институт, где мог побыть один. Достал новый блокнот и написал на первой странице: «Записи фактов, которых я не знаю». В первый, но не в последний раз он пересматривал и систематизировал свои знания. Несколько недель он старался разобраться в каждом разделе физики, рассматривая их по отдельности и снова собирая вместе, замечая острые углы и нестыковки и стараясь в каждой теме найти ее суть. Когда

Фейнман закончил подготовку, у него на руках была записная книжка, которой он особенно гордился. Но, как оказалось, от этих записей было мало пользы при подготовке к экзамену. Его спросили, какой цвет находится в верхней части радуги. Он чуть было не дал неверный ответ, обратив в уме зависимость показателя преломления от длины волны. Специалист в области математической физики Говард Робертсон задал умный вопрос по теории относительности о том, как будет выглядеть траектория Земли, если смотреть на нее в телескоп с удаленной звезды. Как позднее понял Фейнман, он неправильно истолковал вопрос, но тогда убедил-таки преподавателя в своей правоте. Уилер зачитал предложение из учебника по оптике о том, что свет от сотни атомов, не согласованный по фазе, будет в пятьдесят раз интенсивнее света от одного атома, и попросил обосновать это утверждение. Фейнман заподозрил подвох. Он ответил, что в учебнике, должно быть, ошибка, так как, следуя той же логике, два атома будут излучать свет такой же мощности, как и один атом. Однако все это были формальности. В Принстоне понимали, что представлял собой Фейнман. Когда он конспектировал курс по ядерной физике, его озадачили сложные формулы Вигнера для частиц в ядре. Он не понял их, поэтому решил для себя эту проблему, придумав диаграмму (она стала предвестником великих грядущих открытий), позволявшую сохранить число взаимодействий частиц, рассчитывая количество нейтронов и протонов, и упорядочивая их с помощью теории групп в пары, которые могли быть симметричными или несимметричными. Эта диаграмма смутно напоминала те, что он придумал, чтобы разобраться, как работает схема складывания флексагонов из бумаги. Ричард не понимал до конца, почему его схема работала, но был уверен в ней. И она, в конце концов, значительно упростила подход Вигнера.

В средней школе Фейнман не решал задачи евклидовой геометрии методом логического последовательного выстраивания доказательств. Он манипулировал диаграммами и схемами в уме: соединял какие-то точки, оставляя другие свободно висеть в пространстве, представлял одни линии как жесткие стержни, а другие — как растягивающиеся полосы, и потом позволял фигурам изменяться, пока не получал нужный результат. Его ментальные конструкции перетекали одна в другую более свободно, чем это можно было бы осуществить в реальности. Теперь же, усваивая совокупность законов физики и математических действий, Фейнман работал по тому же принципу. Линии и вершины, парящие в пространстве его сознания, принимали вид сложных символов и операторов. Они

обладали рекурсивной глубиной: Ричард мог сконцентрироваться на них и расширить до более сложных выражений. Он мог сдвигать и переставлять их, закреплять неподвижные точки и растягивать пространство, в которое они были встроены. Некоторые мысленные манипуляции требовали изменения системы координат, переориентации во времени и пространстве. Перспектива могла изменяться: быть неподвижной, равномерно перемещаться, двигаться с ускорением. О Фейнмане говорили как о человеке, обладающем невероятной интуицией в области физики, но только одно это не могло объяснить его невероятные аналитические способности. Он соединил способность ощущать силы и те алгебраические операции, которые их выражали. Вычисления, обозначения, знаки были для него так же осязаемы, как физические величины, которые они обозначали. Подобно тому, как у некоторых людей числа ассоциируются с определенным цветом, у Фейнмана с различными цветами ассоциировались переменные из формул, которые он воспринимал интуитивно. «Когда я говорю, — как-то объяснял он, — я вижу размытые изображения функций Бесселя из учебника Джанке и Эмде. Я вижу светлый тангенс *j*, слегка голубоватый *n*, темно-коричневый *x* где-то рядом. И мне интересно, как все это, черт возьми, видят студенты».

За прошедшие восемь лет ни Дирак, ни кто-либо другой не смогли развить применение лагранжиана в квантовой механике как способ проследить историю частицы с помощью вычисления действия. Теперь же идея Дирака позволила Фейнману найти выход из непростой ситуации. Сложные элементы квантовой механики вырвались на свободу, задача обрела принципиально новую формулировку. Если Дирак показал способ оценки поведения волновой функции в бесконечно малом промежутке времени, то Фейнману нужно было показать, что будет происходить с волновой функцией за определенный промежуток времени. Между бесконечно малой и конечной величинами лежала огромная пропасть. Чтобы воспользоваться бесконечно малыми промежутками времени Дирака, нужно объединить результаты, полученные на каждом из множества этапов вычислений. Бесконечного множества. На каждом этапе требовалось интегрировать и суммировать алгебраические величины. В воображении Фейнмана возникла последовательность умножений и сложных интегралов. Он рассчитывал координаты, определяющие положение частицы. Эти координаты определялись с помощью сложных интегралов. Получившееся число определяло действие. Фейнман понял, что для получения этого значения ему придется составить сложный

интеграл, охватывающий каждую точку в системе координат, через которую может двигаться частица.

В результате он получил некую сумму вероятностей — точнее, не совсем вероятностей, потому что в квантовой механике требовалось оперировать более абстрактной величиной, называемой амплитудой вероятности[96]. Фейнман учел вклад всех возможных траекторий от начала движения до конца, хотя раньше в его воображении все эти координаты валялись в куче, напоминающей скорее стог сена, нежели набор конкретных путей[97]. Тем не менее он понял, что вернулся к первым принципам и открыл новую формулировку квантовой механики. Он не мог увидеть, куда это приведет. Но уже тогда его ощущение траекторий в пространстве-времени стало понятнее. Было что-то загадочное в определенных вынужденных колебаниях «постэфирного» поля, волнового наследника 1920-х.

Белая чума

Медицина XX века еще только закладывала научный фундамент, который физика начала выстраивать еще в XVII веке. Практикующие врачи пользовались властью, даруемой целителям на протяжении всей истории человечества. Они говорили на понятном только им языке и носили мантии медицинских школ и сообществ. Но их знания представляли собой не что иное, как смесь народных верований и псевдонаучных фактов. Лишь некоторые из тех, кто проводил исследования в области медицины, понимали основы метода контролируемого статистического эксперимента. Врачи спорили о возможности применения того или иного способа лечения почти так же, как теологи о своих гипотезах, приводя в качестве доводов личный опыт, умозрительные обоснования и эстетические аргументы. Специалисты-биологи не изучали математику. Человеческое тело по-прежнему оставалось загадкой, своего рода «черным ящиком», увидеть содержимое которого помогали лишь хирургический скальпель или туманные рентгеновские лучи. Ученые даже на самом элементарном уровне толком не разбирались в том, что такое диета. Модное слово *витамин* только входило в обиход. Некоторые витамины удалось синтезировать в лабораторных условиях, но отец Фейнмана Мелвилл, страдавший повышенным кровяным давлением, медленно отравлял свой организм диетой, обогащенной солью и включавшей яйца, молоко и сыр. Иммунология и генетика представляли собой бездонную пропасть невежества. Превалирующая теория сознания была не научной теорией, а скорее собранием высокопарных заявлений, смешанных с терапевтическими исповедями, дающими временное душевное успокоение. Причины рака, вирусных инфекций и болезней сердца и сосудов даже не попали еще в поле зрения медиков. На протяжении века эти недуги еще будут посмеиваться над всей медицинской наукой.

Тем не менее медицина стояла на пороге масштабного прорыва в лечении бактериальных эпидемий с помощью двойного оружия: вакцинации и антибиотиков. В год, когда Фейнман поступил в Принстон, Джонас Солк[98] получил докторскую степень по медицине, и всего несколько лет отделяли его от сокрушительного удара по полиомиелиту. Но все же всесторонние клинические исследования и статистический подход еще не проникли в медицину. Десятью годами ранее Александр Флеминг заметил антибактериальные свойства плесени *Penicillium notatum*, но не сумел предпринять шаги,

которые позднее расценили бы как естественные. Он опубликовал работу под названием «Средство для выделения палочки Пфейфера» (A Medium for the Isolation of Pfeiffer's Bacillus), в которой описал эксперименты по втиранию плесени в открытые раны нескольких пациентов, однако полученные им результаты были неочевидны. Ему даже в голову не приходило попытаться методично изучить свойства плесени. Лишь десять лет спустя биологи (в том числе и сам Флеминг), безрезультатно мечтавшие о волшебном антибактериальном средстве, которое спасло бы миллионы жизней, получили его. В 1940 году двое исследователей, опираясь на статью Флеминга, выделили пенициллин. Они ввели пенициллин четырем больным мышам, оставив другие четыре особи без лекарства. Медицина наконец-то встала на путь научных исследований. В свете событий 1930-х годов потерянные десять лет были не так заметны. Современники Флеминга не высмеяли его как растяпу. Напротив, провозгласили героем и вручили Нобелевскую премию.

Туберкулез, известный как истощение, чахотка, скрофула, болезнь легких, убил больше людей в расцвете сил по всему миру, чем любая другая болезнь. Однако писатели и поэты находили в нем нечто романтическое. Болезнь бледных эстетов. Болезнь упадничества, расточительство тела. Длительная вялотекущая лихорадка, как ошибочно считалось, обостряла восприятие жизни, повышала метаболизм и стимулировала процесс существования. Томас Манн, которого туберкулез вдохновил на написание самого знаменитого его романа, сравнивал последствия болезни и воспаления с грехом, падением, с созданием самой жизни из безжизненных молекул: «Патологически роскошная болезнь разрастается, возбуждаемая проникновением в организм чего-то неизвестного… интоксикация, усугубляющееся неизученное физическое состояние». Эти слова он писал в 1924 году, когда европейские санатории в горах стали уже динозаврами из прошлого. Американские власти считали туберкулез болезнью бедных.

Лимфатическая система Арлин Гринбаум была заражена туберкулезом, который, возможно, попал в организм через непастеризованное молоко. В лимфоузлах на шее и в других местах снова и снова появлялись безболезненные мягкие «шишки». Арлин постоянно лихорадило, она чувствовала общую слабость. Но врачи так и не смогли поставить точный диагноз. С их точки зрения, у Арлин не мог развиться туберкулез: она была молодой и недостаточно бедной. К тому же лимфатический туберкулез встречался в двадцать, а то и в тридцать раз реже, чем туберкулез легких. Когда версию с тифозной лихорадкой

отбросили, возникло предположение, что у Арлин одна из разновидностей ракового заболевания: лимфома, лимфосаркома, болезнь Ходжкина.

Фейнман вернулся в библиотеку Принстона и изучил все что мог. В одном из учебников приводились возможные диагнозы. На первом месте стояла локальная инфекция. Этот вариант исключался, так как опухоль распространилась уже по достаточно большому участку. Второй вариант — лимфатический туберкулез. Его, как отмечалось в учебнике, легко диагностировать. Потом шли всевозможные формы рака, и все они, как, к своему ужасу, выяснил Ричард, считались смертельными. Сначала Ричард даже посмеялся над своей склонностью к выбору самого драматичного варианта. Каждый, кто возьмется читать подобные перечни заболеваний, неизбежно станет думать о смерти, предположил он и направился в столовую, где обычные разговоры показались ему неестественно нормальными.

Он смутно помнил, как прошли те несколько месяцев 1941 года: постоянные визиты в больницу, проявление и угасание симптомов, консультации с докторами. Ричард оставался в стороне, узнавая новости от Гринбаумов. Они с Арлин пообещали друг другу, что храбро и честно примут любой исход. Арлин продолжала настаивать, чтобы честность, как и прежде, во времена более безмятежные, была основой их отношений; она больше всего ценила в Ричарде готовность посмотреть правде в глаза, его нежелание избегать правды или прятаться от нее. Она сказала, что не хочет эвфемизмов или вранья по поводу ее болезни. Основная масса практикующих врачей выступала против сообщения пациентам правды, когда дело касалось неизлечимых заболеваний. Считалось, что такое известие нанесет вред их здоровью. Когда доктора, наконец, поставили зловещий диагноз — болезнь Ходжкина, в течение которой будут периоды ремиссии, но сама болезнь неизлечима, перед Ричардом встала дилемма. Для пользы Арлин врачи предложили сообщить ей, что у нее мононуклеоз. Фейнман отказался участвовать в этом обмане. Он объяснил, что они с Арлин договорились не врать друг другу, даже если это будет ложь во спасение. Как же теперь он мог смотреть в глаза любимой с такой огромной ложью на сердце?

Его родители, родители Арлин и врачи убеждали Ричарда не быть столь жестоким и не сообщать молодой девушке, что она фактически умирает. Его сестра Джоан, рыдая, назвала его бессердечным и упрямым. Он сдался и согласился играть по общим правилам. В палате в больнице Фармингдейла он подтвердил Арлин слова родителей о мононуклеозе. Тогда же он

стал носить с собой письмо — он называл его «прощальное любовное письмо», — предназначенное своей любимой, которое рассчитывал вручить Арлин, когда она узнает правду. Фейнман был уверен, что она никогда не простит ему эту ложь.

Долго ждать не пришлось. Вскоре после возвращения домой Арлин, выйдя из своей комнаты наверху, услышала, как ее мать плачет на кухне, разговаривая с соседкой. Когда она напрямую спросила обо всем Ричарда, тот протянул ей хранящееся в кармане письмо и попросил выйти за него замуж.

Оформить брак было непросто. В таких университетах, как Принстон, подобные вопросы не оставляли на усмотрение учащихся. Финансовые и моральные обязательства вызывали серьезную озабоченность. Ричард учился на стипендию, которая позволяла ему зарабатывать 200 долларов в год в качестве научного сотрудника. Когда Ричард сообщил декану университета, что его невеста смертельно больна и он собирается жениться на ней, декан отказался дать соответствующее разрешение и предупредил, что Фейнман может лишиться стипендии. Никаких уступок и исключений. Такая реакция встревожила Ричарда. Он стал подумывать о том, чтобы оставить обучение на какое-то время и найти работу. Но прежде чем он принял решение, очередные новости прилетели из больницы.

Анализы выявили туберкулез лимфоузлов. У Арлин не было болезни Ходжкина. Туберкулез был неизлечим, по крайней мере, с учетом всех известных методов, но с ним можно было прожить довольно долго. Волна облегчения накрыла Ричарда. Однако, к своему удивлению, он уловил в голосе Арлин нотки разочарования. Теперь исчезла причина немедленно пожениться.

Подготовка к войне

В начале лета 1941 года угроза войны становилась все более ощутимой. Особенно остро ее ощущали ученые. Их международные контакты оборвались. Вот уже более пяти лет беженцы из гитлеровской Европы находили работу в американских университетах, нередко занимая руководящие должности. Те же, кто приезжал позднее, рассказывали страшные истории о концентрационных лагерях и терроре. Ученые начали заниматься военными разработками задолго до того, как японцы нанесли воздушный удар по Перл-Харбор. Канадский коллега Фейнмана вернулся на родину, чтобы вступить в королевские военно-воздушные войска. Остальные, казалось, тихо куда-то ускользали: на секретных предприятиях, разрабатывающих военные технологии, ученые занимали должности консультантов, инженеров и членов технических комиссий. Война распространялась и на область физики. Когда ученым по закрытым каналам сообщили о битве за Британию, в новостях прошла информация об устройстве, которое позволяло обнаруживать самолеты, улавливая отраженные ими радиоволны. Тогда радар еще не имел своего названия. Прошел слух о том, что использование новейших математических разработок и электромеханических устройств позволило взломать секретный шифр. Физиков встревожили публикации, в которых сообщалось, что сотрудники Института кайзера Вильгельма, располагавшегося в окрестностях Берлина, открыли ядерное деление, при котором в результате цепной реакции может высвободиться огромная энергия, но что для создания такой бомбы потребуется большое количество редкого изотопа урана-235. Насколько большое? В Принстоне называли цифру в сто килограммов, то есть больше стандартной массы человеческого тела. Казалось, получить такое количество урана невероятно сложно, практически невозможно, ведь в природе существовало крайне мало урана-235 в чистом виде. Единственный удачный эксперимент по выделению радиоактивного изотопа в превышающем микроскопическую величину количестве провели в Норвегии, в то время находившейся под военной оккупацией немецких войск. И там же на заводе водоопреснительная установка кропотливо трудилась над производством «тяжелой», обогащенной дейтерием (изотопом водорода) воды. Но уран был далеко не водой.

Ученые выхватывали обрывки интересующей их информации из обычных разговоров или вдруг обнаруживали, что оказались вовлеченными в секретную деятельность. В то время как Фейнман

оставался по большей части в стороне, его руководитель профессор Юджин Вигнер уже два года был участником «венгерского заговора» и вместе с Лео Силардом[99] и Эдвардом Теллером[100] способствовал тому, что Эйнштейн, а через него и президент Рузвельт узнали о возможности создания бомбы. («Я сам никогда бы не подумал об этом!» — сказал Эйнштейн Вигнеру и Силарду.) Другой преподаватель Принстонского университета, Роберт Уилсон, оказался вовлечен в события, которые начались с телеграммы от Эрнеста Лоуренса, бывшего его наставником, когда он работал на циклотроне в Беркли. В МТИ на мероприятии, проводимом под видом обычного научного собрания, Уилсон и несколько его коллег узнали о формировании новой лаборатории — Радиационной лаборатории МТИ. Лаборатории поставили задачу, используя опыт британских ученых по созданию радара, разработать новую технику, которая позволит направлять корабли, выставлять прицелы, обнаруживать подводные лодки и в целом переломить ход войны. Идея заключалась в создании установки, позволяющей излучать в виде импульсов столь мощные радиоволны, чтобы можно было зафиксировать отраженные от цели эхо-сигналы. На начальной стадии разработки радара использовали волны длиной более девяти метров, при этом требовались огромные антенны, и разрешение было низким. Стало очевидным, что практичнее использовать в радаре волны длиной порядка нескольких сантиметров, то есть близкие к микроволнам. Появилась необходимость в новом электронном оборудовании, способном вырабатывать более высокочастотные сигналы высокой мощности и при этом быть менее громоздким. Британские ученые изобрели магнетрон — прибор, способный излучать настолько сконцентрированные пучки микроволновых лучей, что с их помощью можно было прикурить сигарету. Этого оказалось достаточно, чтобы поразить американцев. («Это же просто, — говорил Исидор Раби первой группе физиков, собравшейся около опытного экземпляра британского прибора. — Это буквально как свисток». — «Хорошо, Раби, — отозвался один из присутствующих, — как же этот свисток работает?») Ученые начали заниматься подобными разработками задолго до того, как Америка признала неизбежность конфликта. Уилсон согласился принимать участие в разработках Радиационной лаборатории, хотя и прославился в Беркли как пацифист. Но как только он собрался покинуть Принстон, Вигнер и заведующий кафедрой Смит решили, что пришло время ввести его в курс еще одного весьма важного дела. Они рассказали Уилсону, что Принстон вскоре примет непосредственное участие в проекте по разработке

ядерного реактора. И, естественно, объяснили, почему.

Укрепление довоенного сотрудничества ученых и военных конструкторов основывалось на патриотизме, который ни в одну из последующих войн не мог бы возникнуть по приказу. Он легко преодолел пацифизм Уилсона. Даже Фейнман пришел в военкомат и хотел записаться на фронт связистом, но, когда узнал, что ему придется начинать с общей строевой подготовки, быстро оставил эту идею. Той весной 1941 года его наконец-то пригласили работать в лабораторию Белла в Нью-Йорке. Когда его приятель Уильям Шокли показывал ему будущее место работы, Ричарда заворожила атмосфера, в которой прикладная наука представала во всей красе. Из окна лаборатории открывался вид на строящийся через Гудзон мост Джорджа Вашингтона. Сотрудники лаборатории нарисовали на стекле изображение первого троса и по мере того, как воздвигался мост, слегка изменяли рисунок, так что кривая постепенно превращалась в параболу. Фейнман подумывал принять предложение. Тем не менее, когда генерал армии, представляющий Франкфортский арсенал[101], посетил Принстон, приглашая физиков заключить контракт, Ричард без колебаний отклонил предложение лаборатории Белла и на лето записался в армию. Как-никак это возможность послужить своей стране.

В декабре, когда Соединенные Штаты официально вступили в войну, четвертая часть всех физиков страны (а их было более семи тысяч) уже принимала участие в разбросанных пока по разным лабораториям, но стремительно набирающих обороты военных исследованиях и разработках. Поколение, воспитанное на идее о том, что наука — двигатель прогресса и источник знаний, поддерживающих человечность, теперь увидело другую великую идею. Отношения между федеральными властями и главами научных институтов налаживались. Летом 1941 года правительство учредило Управление научных исследований и разработок, подчиняющееся Национальному исследовательскому комитету по вопросам обороны. Комитету поручили координировать научные разработки в области, которую президент МТИ Карл Комптон, олицетворявший тогда новое партнерство, назвал «областью машин, приборов, инструментов и материалов, предназначенных для ведения войны». К ним относились не только радиолокационные установки и взрывчатые вещества, но и вычислительные машины и военная медицина. А такому роду войск, как артиллерия, требовались приспособления, позволяющие прицельно, а не наугад, выпускать снаряды. По собственной инициативе физик-ядерщик Ханс Бете участвовал в разработке зарождающейся теории бронепробиваемости, а также

в изучении проблемы сверхзвуковых ударных волн, создаваемых реактивными снарядами. Фейнман проводил время более тривиально. Все лето он работал во Франкфортском арсенале над примитивным аналоговым компьютером, состоящим из зубчатых колес и кулачков, предназначенным для наведения артиллеристских орудий на цель. Все это казалось технически устаревшим и архаичным, и Ричард даже думал, что лучше бы он остался работать в лаборатории Белла.

Однако даже в университетских мастерских ему не приходилось сталкиваться с таким актуальным взаимодействием математики и металлов. Чтобы направить орудийную башню, нужно было перевести синусы и тангенсы в движения металлических деталей. Неожиданно у тригонометрии открылся инженерный контекст: задолго до того, как тангенс почти вертикальной башни стремился к бесконечности, вращение, передаваемое зубцам шестеренок, обламывало их. Фейнман углубился в математические расчеты, с которыми никогда раньше не сталкивался, а именно — в манипуляции с функциональными корнями. Он разделил синус на пять равных дополнительных функций так, чтобы функция функции функции функции функции равнялась синусу. В этом случае шестеренки могли выдержать нагрузку. Ближе к концу лета Фейнману поставили новую задачу — сделать так, чтобы подобный компьютер вычислял плавную кривую, например траекторию движения самолета, исходя из последовательно, с одинаковым интервалом в несколько секунд поступающих данных о его положении. Только позже Фейнман узнал, что в решении были заинтересованы специалисты Радиационной лаборатории МТИ, работающие над созданием радара.

Лето кончилось, Ричард вернулся в Принстон. Ему осталось лишь написать докторскую. Он работал не торопясь, пытаясь применить свой подход использования принципа наименьшего действия при решении основных типичных проблем квантовой механики. Он рассмотрел случай взаимодействия двух частиц, или систем частиц *A* и *B*, взаимодействующих не напрямую, а через промежуточную колебательную систему — гармонический осциллятор *O*. *A* вызывает колебания *O*, который, в свою очередь, действует на *B*. Отставание во времени усложняет картину, потому что как только *O* приходит в движение, поведение *B* будет зависеть от поведения *A* в прошлом, и наоборот. Этот случай не что иное, как аккуратно упрощенный вариант обычной задачи, рассматривающей взаимодействие двух частиц с помощью поля. Фейнман спросил себя, при каких условиях уравнение движения можно вывести из принципа наименьшего действия, строго

исходя из имеющихся данных о двух частицах A и B и не принимая во внимание то обстоятельство, что вместо поля будет O. Принцип наименьшего действия стал казаться чем-то большим, нежели просто удобным способом расчета. Ричард почувствовал, что все это имеет непосредственное отношение к вопросам, которыми обычно занимается физика, таким, как принцип сохранения энергии.

«Этот интерес к …» — написал он, но потом переформулировал мысль.

«Такое стремление к использованию принципа наименьшего действия не только приводит к упрощению выражений; помимо всего прочего, в тех случаях, когда движение может быть представлено таким образом, мы можем быть уверены в том, что законы сохранения энергии, импульса и т. д. работают».

Как-то утром Уилсон зашел в кабинет Фейнмана, присел. «Какие-то слухи ходят повсюду», — заметил он. Нельзя раскрывать секреты, но Ричард был ему нужен, а его невозможно заполучить, не выложив все карты на стол. К тому же никаких официальных требований о необходимости держать всё в тайне не поступало. Военные все еще не принимали физиков всерьез. Физики сами решили не обсуждать некоторые вопросы, но теперь Уилсон решил отступить от правил. Настало время раскрыть Фейнману некоторые секретные сведения.

Уилсон сказал, что существует вероятность создания ядерной бомбы. Британские физики за два года до этого, узнав от Бора и Уилера об уране-235, заново рассчитали критическую массу вещества, необходимого для реакции. Немецкий химик-эмигрант из британской команды Франц Симон[102] пересек Атлантику на гидросамолете, чтобы сообщить последние новости из Бирмингемской лаборатории. Возможно, достаточно будет примерно килограмма вещества. Британцы трудились не покладая рук над решением проблемы разделения изотопов урана, отделяя более легкий и редкий изотоп урана-235 от более распространенного урана-238. Химические свойства этих двух форм урана одинаковые: при химических реакциях они неразличимы, поскольку количество *протонов* в ядре совпадает. Но массы атомов разных изотопов различаются (так как количество *нейтронов* разное), и теоретически можно воспользоваться именно этим обстоятельством. Симон и сам работал над схемой медленной диффузии газов через металлическую фольгу с проделанными в ней точечными отверстиями. Молекулы урана-238, чуть более тяжелые, отставали от легких при прохождении газа через отверстия в фольге. Вокруг проблемы урана начали формироваться секретные

комиссии и отделы.

Британцы придумали кодовое название *tube alloy*, которое позже сократили до *tubealloy*. Американцы строили ядерный реактор, и все больше профессоров из Принстона оказывались привлеченными к этим разработкам. Уилсон сообщил, что у него возникла собственная идея. Он изобрел устройство (пока оно существовало только в его голове), с помощью которого, как он надеялся, можно было решить проблему разделения гораздо быстрее. Пока Симон занимался отверстиями в металле, Уилсон, войдя как-то утром на кухню и увидев дуршлаг, подумал о возможности использования проволочной сетки и молотка: почему бы не совместить передовую электронику с технологией циклотрона?

Он убедил Смита позволить ему собрать команду из преподавателей, аспирантов и инженеров. Что-то вроде «сборочного цеха», в котором будет работать несколько одаренных ребят, формировалось под патронажем Научно-исследовательского совета национальной обороны. Это позволило Уилсону набрать необходимых ему людей. Аспирантов привлекали к работе очень просто: Принстон приостановил выполнение большинства их работ. Аспирантам предложили выбрать одно из трех направлений, связанных с военной индустрией: проект Уилсона, разработка нового измерителя параметров ударной волны и, на первый взгляд совершенно неактуальное, исследование теплофизических свойств графита. (Только позже стало понятно, что имелось в виду изучение термонейтронных свойств материала, предназначенного для ядерного реактора, поскольку с помощью графита можно контролировать ход цепных реакций.) Уилсон хотел в первую очередь заполучить Фейнмана. Он полагал, что постоянный скептицизм Ричарда и его нежелание принимать любые заверения на веру будут как раз кстати. Фейнман, безусловно, сразу почует любой вздор или излишнюю самоуверенность, думал он. Он также хотел, чтобы Фейнман во время презентации проекта другим учащимся уже был на его стороне.

К величайшему разочарованию Уилсона, Ричард отверг его предложение. Он слишком погрузился в свою диссертацию, к тому же, хотя и не говорил об этом, работа во Франкфортском арсенале слегка развеяла его иллюзии по поводу военных разработок. Он сказал, что сохранит все в тайне, но участвовать в проекте не будет. Тогда Уилсон попросил его хотя бы прийти на встречу.

Намного позже, когда все участники проекта по созданию бомбы оглядывались назад, вспоминая, когда приняли решение,

Фейнман обратил внимание на то, что чувствовал необычное смятение в тот день. Он никак не мог вернуться к работе, постоянно думал о важности проекта, о Гитлере, о спасении мира. Некоторые физики уже догадались, сделав осторожные выводы из материалов, опубликованных в научных статьях, и из списка университетов, в которых работали их авторы, что в Германии проводятся исследования в области ядерного оружия. К тому же среди физиков, внезапно исчезнувших из поля зрения, находился Вернер Гейзенберг. Так что угроза была довольно реальной. Позже Фейнман вспоминал, как открыл ящик стола и положил туда разрозненные листы своей незаконченной диссертации.

Манхэттенский проект

Чикаго, Беркли, Ок-Ридж, Хэнфорд — первые форпосты Манхэттенского проекта — внезапно стали постоянными национальными ядерными центрами. Для получения очищенного урана и плутония в нужном количестве требовалось в кратчайшие сроки создать крупнейшее в истории промышленное предприятие единого назначения. *General Electric, Westinghouse, Du Pont, Allis-Chalmers, Chrysler, Union Carbide* и десятки более мелких компаний объединились с целью образования новых градообразующих предприятий. В первые месяцы после атаки на Перл-Харбор исследования в области ядерной физики находились на столь низком уровне, что ничего даже отдаленно не предвещало трансформацию, которая в скором времени произошла в стране в сфере военных разработок. Мастерские переоборудовали в соответствии с нуждами и задачами. Принстон смог выделить Уилсону на исследования не более нескольких тысяч долларов. Чтобы получить электронное оборудование, Уилсон разразился настоящей истерикой прямо в кабинете Исидора Раби в лаборатории МТИ. В его команде к тому времени, включая рабочих цеха и технических специалистов, насчитывалось уже тридцать человек. Экспериментальное оборудование состояло из одной нескладной трубы длиной примерно с автомобиль, к которой подсоединялись трубки поменьше и электропровода. Теоретическое подразделение команды состояло из двух задиристых аспирантов, сидевших рядом за столами в маленьком офисе.

Они полагали, что смогут выдержать напряжение, связанное с работой над важнейшим национальным секретным проектом. Старший теоретик как-то взял лист бумаги со стола, скомкал его и, передав ассистенту, сказал, чтобы тот выкинул в корзину для мусора.

— Почему не *ты*?.. — спросил ассистент.

— Потому что мое время ценится больше, чем твое, — ответил Фейнман. — И мне больше платят.

Они измерили расстояние от ученого до корзины для мусора, умножили его на величину заработной платы, продолжая добродушно подшучивать над своей ценностью для ядерной физики. Теоретик номер два Пол Олум взял этот лист бумаги и выкинул его. Он считал себя лучшим студентом-математиком в Гарварде, а в Принстон приехал в 1940 году в качестве второго ассистента Уилера. Уилер познакомил Пола с Ричардом, и уже спустя несколько недель Олум почувствовал себя

обескураженным. Он никак не мог понять, что происходит. Неужели физики бывают такими, а он просто упустил это? В Гарварде таких точно не было. Фейнман, жизнерадостный, рассекающий на велосипеде по студгородку, словно мальчишка, презирающий формализм современной продвинутой математики, был на голову выше Пола. И не потому, что Ричард прекрасно считал в уме и вычислял. Олум тоже владел этой техникой. Просто Фейнман был словно с другой планеты, и Олум никак не мог понять ход его мыслей. Он никогда не встречал человека, способного с такой невероятной интуицией воспринимать природу, даже в самых неочевидных ее проявлениях. Он даже подозревал, что, когда Фейнман хотел узнать, как поведет себя электрон в определенных условиях, он просто спрашивал себя: «Будь я электроном, что бы я сделал?»

Фейнман обнаружил огромную разницу между интуитивным теоретическим знанием о том, как будут вести себя электроны в разреженном пространстве, и предсказанием их поведения в громоздком аппарате, наспех собранном из металлических и стеклянных трубок. Фейнман с Олумом работали впопыхах. С самого начала они понимали, что идея Уилсона находится на грани возможного и безнадежного, но на какой именно стороне? Результаты расчетов казались странными. Частенько им приходилось о чем-то догадываться и использовать приблизительные значения, и понять, на каких конкретно этапах работы можно ими воспользоваться, а на каких необходимы точные вычисления, было трудно. Фейнман осознал, что не вполне доверяет теоретической физике, особенно сейчас, когда нет права на ошибку. Техники тем временем продолжали выполнять свою работу. Они не могли себе позволить дожидаться, когда теоретики закончат все расчеты. Фейнман временами думал, что все это напоминает мультипликационный фильм: каждый раз, когда он оглядывался, аппарат «отращивал» новые щупальца-трубы или обрастал новыми дисками и циферблатами.

Уилсон назвал свой аппарат изотрон — довольно бессмысленное слово, образованное по аналогии со словом калитрон (Калифорния + трон), придуманным когда-то его учителем Эрнестом Лоуренсом. Из всех возможных разделительных аппаратов изотрон Уилсона менее всего предназначался для физических объектов. В его контексте атомы рассматривались скорее как «натурализованные обитатели» волнового электромагнитного мира, нежели как миниатюрные шары, которые под действием приложенной силы должны были пройти через отверстия. Сначала в изотроне происходило испарение урана, а затем ионизация атомов, которые при нагреве

теряли по электрону и становились электрически заряженными (дырками). Затем магнитное поле приводило их в движение, атомы проходили через отверстия, образуя плотный луч. А потом наступало волшебство, которое и отличало изотрон от всех остальных аппаратов. Волшебство, которое Фейнман отчаянно пытался понять.

В магнитном поле устанавливались пилообразные колебания. Напряжение резко падало и возрастало на радиоволновых частотах. Некоторые атомы урана оказывались в поле, когда напряжение падало до нуля. Другие — чуть позже, когда напряжение возрастало: они ускорялись настолько, что могли догнать атомы, оказавшиеся в поле раньше. Затем энергия снова падала, чтобы вторая группа атомов могла двигаться медленнее. Цель состояла в том, чтобы заставить луч распадаться на пучки, подобно тому, как машины разъезжаются на развязках шоссе. Уилсон прикинул, что длина пучков будет чуть меньше метра. Основная идея заключалась в том, что из-за того, что атомы урана-235 и урана-238 обладают разной массой, их ускорение в магнитном поле тоже будет различаться, и поэтому они будут скапливаться в различных точках аппарата. Уилсон полагал, что если правильно рассчитать время, то пучки каждого из изотопов должны получиться четкими и отличимыми. По мере того как они достигали конца трубы, на них начинало воздействовать другое переменное поле, колебания которого были синхронизированы так, чтобы пучки атомов отклонялись вправо или влево, и изотопы попадали в соответствующие контейнеры.

Однако возникли проблемы. В то время как под действием собственного импульса ионы должны были группироваться вместе, они начинали отталкиваться друг от друга. Кроме того, некоторые атомы теряли не по одному, а по два и более электронов при ионизации, удваивая или утраивая свой положительный заряд, и это вносило погрешности в вычисления Фейнмана. Когда экспериментаторы попробовали приложить более высокое напряжение, чем то, которое рассчитал Фейнман, они обнаружили, что пучки атомов стали отталкиваться назад, а волны отражались, и образовывались вторичные волны. Фейнман испытал что-то вроде шока, когда осознал, что подобные вторичные эффекты появлялись и в его уравнениях. Если бы только он мог убедить себя доверять им! С изотроном тоже все было непросто. Физикам предстояло придумать способ подачи в аппарат уранового порошка, а не стержней, так как стержень мог сплавляться с электродами, разрушая их. Один из экспериментаторов обнаружил, что, устанавливая пламя ближе к концу уранового стержня, он получал искрящийся фейерверк —

эдакий невероятно дорогой бенгальский огонь.

Тем временем Лоуренс, выступавший против этой разработки, оказался основным конкурентом Фейнмана. Он работал в Беркли и хотел, чтобы работы по изотрону включили в его собственный проект, оборудование передали ему, принстонскую команду распустили, а все, кто в нее входил, занялись доработкой калитрона, в котором также для создания пучка ионов урана использовались новые технологии ускорения. Ускорение ионов осуществлялось в треке размером примерно один метр: более тяжелые атомы продолжали двигаться дальше, а более легкие попадали прямиком в коллектор. По крайней мере, теоретически все должно было происходить именно так.

Когда генерал Лесли Гровс, новый руководитель Манхэттенского проекта, впервые поднялся на холмы Беркли по извилистой дороге, пролегающей от залива Сан-Франциско, его потрясло, что весь материал, полученный в лаборатории Лоуренса, можно было разглядеть разве что под большой лупой. Хуже того, микроскопический образец не был даже очищенным. Но и при таком раскладе его количество превышало то, что удалось получить принстонской команде. Маленький образец вещества, полученный в изотроне, Фейнман в конце 1942 года на поезде привез в Колумбийский университет. В Принстоне не было оборудования, позволяющего измерить, в каком соотношении находятся изотопы в крошечном кусочке урана. Одетый в потрепанный тулуп, Ричард не смог найти никого, кто бы отнесся к нему серьезно. Он бродил со своим радиоактивным куском урана, пока, наконец, не встретил знакомого физика Гарольда Юри[103], который выслушал Фейнмана. Юри был знаменитым физиком и первым, чьи научные лекции слушал Ричард в Бруклине. Тогда темой доклада была тяжелая вода, и Юри вел семинар вместе с женой бельгийского воздухоплавателя Огюста Пиккара. Незадолго до этого Фейнман познакомился с Юри на встрече, посвященной Манхэттенскому проекту, где присутствовали члены его координационного комитета. Подобным образом он впервые встретился и с Исидором Раби, и с Ричардом Толманом, и с так похожим него, но в то же время так от него отличающимся Робертом Оппенгеймером, который в последующие три года будет оказывать огромное влияние на его жизнь.

Вскоре после поездки Фейнмана в Колумбийский университет прозвучало окончательное решение по принстонскому рискованному проекту изотрона. По рекомендации Лоуренса, отвечавшего за все исследования в области электромагнитного разделения, принстонский проект

закрыли. Рабочие характеристики калитрона были лучше, и деньги решили вложить в разработку способа, основанного на использовании более общепринятого процесса диффузии. Для него использовались насосы и трубы, а не магниты и поля, в которых атомы перемещались по случайным траекториям с близкими скоростями, преодолевая на своем длинном пути преграды в виде металлических пластин со множеством микроскопических отверстий. Для Уилсона это стало потрясением. Он полагал, что комиссия действовала не просто поспешно, но и довольно эмоционально. Коллеги же расценили это событие как несомненный проигрыш, личный и профессиональный, в соревновании с бывшим учителем Лоуренсом. Смит и Вигнер в частном порядке высказали другую точку зрения: они предполагали, что при должной доработке изотрон мог бы выиграть эту войну. «Калитрон Лоуренса просто использовал грубую силу, чтобы сконцентрировать лучи в пучок, а затем разделить их, — заметил более молодой член команды. — Наш метод был *элегантным*». В случае массового производства, когда работали бы тысячи гигантских изотронов, выход продукции был бы значительно больше. Фейнман выполнил детальный расчет проекта строительства масштабного производства с использованием изотронов, работающих по каскадной схеме, когда на каждой стадии возрастает степень очистки вещества. Он учел все, вплоть до оседания частичек урана на стенках прибора и на одежде рабочих. Он рассматривал варианты производительности комплексов из нескольких тысяч машин. И все же такой масштаб производства оказался весьма скромным в сравнении с тем, что произойдет позднее.

В наследство от принстонского проекта Фейнману досталась дружба с Олумом. Дружба, как и многие последующие, интеллектуально насыщенная и эмоционально неравная. Встречи с Фейнманом оставили след в памяти многих молодых физиков и математиков, как яркий свет, впервые озаривший жизнь. Они по-разному приспосабливались к его манере общения. Кто-то признавал его интеллектуальное превосходство и принимал его случайные шутки в обмен на удивительное удовольствие, которое приносила похвала. Кто-то лучше начинал понимать самого себя и уходил из физики. Сам Олум в конце концов вернулся в математику, где чувствовал себя более уверенно. Он работал с Фейнманом во время войны, а потом они отдалились друг от друга. В течение следующих сорока лет они встретятся всего несколько раз. Пол часто будет вспоминать своего старого друга. Когда Ричард умер, Олум был ректором Орегонского университета. Олум понял, что молодой гений, с которым они

встретились в Принстоне, сыграл огромную роль в его жизни, и отрицать это бессмысленно. «Моя жена умерла три года назад, — сказал Олум, — тоже от рака».

«…Я часто вспоминаю ее. Признаюсь, у меня есть книги Дика и другие вещи. У меня есть все его лекции и работы. И его фотографии. Статьи из Science о расследовании катастрофы “Челленджера”. Даже последние его книги. У меня сердце сжимается каждый раз, когда я смотрю на них. Как может такой человек, как Дик Фейнман, умереть! Такой великий и замечательный ум.

У него было невероятное восприятие всего и способность видеть во всем только суть и ничего более. Это тяжелая утрата, но от нее никуда не деться. Многие, кого я знал, умерли. Мои родители и мой младший брат… Но такое чувство я испытываю только по отношению к двум людям: своей жене и Дику.

Полагаю, хотя это и не было похоже на детство, мы ведь были студентами, но я чувствовал к нему нечто большее… Не знаю, было это чувство романтичным или что-то в этом роде. И мне невероятно тяжело осознавать, что его больше нет. Он был удивительным, самым необыкновенным человеком во всей Вселенной».

Начатое доведено до конца

Отсутствовал в принстонской группе только Джон Уилер. Он уже отбыл в Чикаго, где в металлургической лаборатории (той загадочной металлургической лаборатории, в которой не работал ни один металлург) Энрико Ферми со своей командой приступили к созданию первого ядерного реактора. Они собирались использовать уран более низкого качества, чем требовалось для бомбы, чтобы реакция расщепления была медленной. Весной 1942 года в Чикаго легче всего было получить представление о том, что принесет будущее. Уилер знал, насколько глубоко его бывший студент погрузился в проблему разделения изотопов. В марте он отправил Фейнману сообщение. Пришло время заканчивать работу над диссертацией, сколько бы вопросов в ней ни оставалось открытыми. Вигнер, который также все больше и больше включался в работу чикагской команды, согласился, что Фейнман уже достоин того, чтобы получить степень.

Фейнман понял предупреждение. Он взял отпуск, прервав ненадолго работу над проектом по созданию изотрона. Но все равно не мог нормально писать, особенно находясь под таким давлением. Позже он будет вспоминать, как провел первый день отпуска, когда, лежа на траве и чувствуя себя виноватым, глядел на небо. Наконец, исписав авторучкой своим небрежным почерком целую кипу бумаги — а бумага тогда была дорогой, — Ричард начал писать на бланках Lawrencian — газеты средней школы Лоуренса (главный редактор Арлин Гринбаум), бланках заказов фирмы G. B. Raymond & Company, фирмы с Лонг-Айленда, занимающейся канализационными трубами, дымоходами и прочим, а также бланках фирмы Glendalec. Теперь он полностью усвоил революционную позицию Уилера, позицию, которая объявила разрыв с прошлым. Когда квантовую механику Макса Планка применили к решению проблемы света и электромагнитных полей, то, как написал Ричард, «возникали серьезные трудности, которые не удалось успешно преодолеть». И в случаях применения ее к другим видам взаимодействия с недавно открытыми частицами, как отмечал Ричард, приходилось сталкиваться с аналогичными нестыковками. «Теория мезонного поля построена по аналогии с теорией электромагнитного поля. Но все аналогии, к сожалению, слишком идеальны, а бесконечные ответы слишком расплывчаты и сбивают с толку». Поэтому Фейнман отказался от поля, по крайней мере, от устаревшей идеи поля как свободной среды, в которой распространяются волны.

Поле — «производное понятие, — писал он. — Поле полностью определяется частицами». Поле — это исключительно “математическая конструкция”». Так же радикально высказывался он и о волновой функции Шрёдингера, как об устаревшем способе описания полного состояния квантово-механической системы в определенный момент времени. В конце концов, она бесполезна, если при взаимодействии частиц имело место отставание во времени. «Мы можем предположить в таком случае, что волновая функция — просто математическая конструкция, полезная лишь при определенных условиях, нет, определенных конкретных условиях… но в целом она неприменима».

Фейнман приложил все усилия, чтобы результаты, полученные в сотрудничестве с Уилером, остались в стороне. Он хотел, чтобы в диссертации были только его собственные мысли. Возможно, к тому времени он уже понимал, что сама по себе теория поглощения тупиковая. Он полностью сосредоточился на концепции принципа наименьшего действия. Соавторство Уилер — Фейнман было лишь отправной точкой, писал Ричард. Оказалось так, что основной объем диссертации занимали «иллюстративные примеры». Но Фейнман заявил, что его метод наименьшего действия «существует независимо от их общей теории и вполне самодостаточен».

Первая часть диссертации выглядела обманчиво традиционно. В ней рассматривались некоторые классические уравнения, используемые для описания механических систем, таких как пружины, соединенные сторонним осциллятором. Затем этот промежуточный осциллятор исчезал. Решающий довод математической находчивости позволял исключить его. Далее шли краткие расчеты, очень похожие на те, что использовались в методе Лагранжа. Вскоре еще одно обоснование, и предмет исследований переходил в область квантовой механики. Классическая механическая структура, представленная в первой части, преобразовывалась в нечто довольно современное. На месте двух механических систем, соединенных осциллятором, оказались две частицы, взаимодействие между которыми осуществлялось через промежуточное осциллирующее поле. Поле тоже устранили. Новая квантовая электродинамика рождалась с чистого листа.

Фейнман прямо говорил о недоработках своей теории, приведенной в диссертации. Это была теория, ничем экспериментально не подтвержденная. (Он надеялся найти ей применение в будущем при проведении лабораторных исследований.) Квантовая механика оставалась нерелятивистской: в рабочей версии следовало учитывать

искажения ньютоновской физики, возникающее на околосветовых скоростях. Прежде всего Ричарда не устраивал физический смысл его уравнений. Он чувствовал, что им не хватает четкости. Несмотря на то что некоторые научные концепции казались более пугающими и трудными для понимания, чем волновая функция Шрёдингера, физики стали визуализировать волновую функцию хотя бы в виде некоего всплеска вероятности на грани сознания. Фейнман обнаружил, что в его схеме отбрасывается даже этот фрагмент ментальной картины. Измерения создавали проблемы: «В математике мы должны дать описание системы для любого значения времени, но, если в результате измерения мы получим значение какого-либо параметра в интересующем нас временном интервале, этот результат надо каким-то образом учесть в исходных уравнениях». Время было проблемой: этот подход требовал, как сказал Ричард, «рассмотрения состояний системы в моменты времени, далекие от настоящего». Впоследствии это окажется преимуществом, тогда же, как казалось, превращало весь метод в сплошной формализм с неочевидным физическим объяснением. Для Фейнмана не поддающийся наглядному представлению формализм был недопустим. Научных руководителей, Уилера и Вигнера, в содержании его диссертации ничего не беспокоило. В июне Принстон присвоил ему докторскую степень. На церемонию Фейнман надел профессорскую мантию, которая три года назад казалась такой неудобной. Он гордился тем, что родители присутствовали на церемонии. Но в какой-то момент его стал раздражать тот факт, что ему пришлось делить сцену с теми, кого награждали почетными званиями. Всегда прагматичному Фейнману это показалось похожим на вручение «почетной лицензии на работу электриком» тем, кто не справился с работой. Если бы ему вручали подобную премию, он бы отказался.

Учеба закончилась, и устранилось одно из обстоятельств, препятствующих браку. Но лишь одно. Согласно медицинским и квазимедицинским догматам, туберкулез был тяжким испытанием для любящих друг друга людей. Одна из глав монографии доктора Лоуренса Фликса «Туберкулез как излечимое и предотвращаемое заболевание» (Consumption a Curable and Preventable Disease), написанной в 1903 году, называлась «Позволительно ли больному туберкулезом вступать в брак?» Только при условии осознания всех возможных «рисков и трудностей», — предупреждал он. И замечал:

«Отношения между мужем и женой так интимны, что, даже будучи очень осторожными, они могут забыть в определенные моменты об опасности заражения».

И далее:

«Для многих матерей, страдающих туберкулезом, крестильная рубаха ребенка становится собственным саваном».

В Справочнике по туберкулезу для медсестер и работников здравоохранения, выпущенном в 1937 году, утверждалось, что браки с такими больными следует запретить:

«Брак — слишком дорогая и опасная роскошь для тех, кто страдает туберкулезом или недавно перенес болезнь легких… Если больна женщина, она должна не только учитывать риск заразить супруга и ребенка, но и принимать во внимание, что беременность может вызвать осложнения».

Даже в 1952 году в одном авторитетном издании приводилась ссылка на рассказ Сомерсета Моэма «Санаторий», в котором речь шла о молодых влюбленных, пренебрегших установленными правилами.

Они были так молоды и отважны, что их было жаль… Хотелось бы, чтобы писатель переписал рассказ, в котором бы чувствительные мальчик и девочка просто подождали бы всего несколько лет… Я люблю счастливые концы.

В учебниках и намека не было на тот вихрь неудержимых чувств, которые испытывает человек, когда туберкулез препятствует любви. Родителей Ричарда пугал его брак с Арлин. Люсиль Фейнман даже в мыслях не допускала подобную возможность. Ее отношения с сыном обострялись тем больше, чем отчетливее она понимала серьезность его намерений. В конце весны она отправила ему сухое длинное послание, в котором не скрывала своего беспокойства за его здоровье, страха за карьеру, переживаний из-за денег и отвращения к самой возможности сексуальных отношений. Она ничего не утаивала.

«Ты подвергаешь опасности свое здоровье, нет, должна сказать, что в опасности окажется вся твоя жизнь, — писала она. — Вполне естественно, что, если вы поженитесь, ты будешь чаще видеть ее». Она переживала и о том, что подумают другие (оппонент, против аргументов которого Арлин и Ричард научились держать оборону). Туберкулез ставил своего рода клеймо на человека, и оно приклеилось бы и к Ричарду. «Люди боятся туберкулеза. Когда твоя жена находится в санатории для больных туберкулезом, никто не знает, настоящий ли это брак. И я уверена, окружающие сочтут общение с таким мужчиной опасным». Она писала о том, что он недостаточно зарабатывает, что он и так уже доказал свою верность Арлин, что она «должна быть рада положению невесты, а не жены», что такой брак «не доставит ему никакого удовольствия и будет лишь тяжким бременем». Она предупредила, что они с Мелвиллом не будут

оказывать им материальную помощь ни при каких обстоятельствах. Она взывала к его патриотическим чувствам, подчеркивая, что больная жена не позволит ему в полной мере служить своей стране. Она напомнила, что его бабушка и дедушка бежали из Европы от расправы и погромов в страну, свободу которой он принял как должное. «Твое решение жениться кажется очень эгоистичным, ты собираешься сделать это, просто чтобы доставить удовольствие одному человеку». Она сомневалась в искренности его намерений жениться на Арлин. Спрашивала, не пытается ли он таким образом просто порадовать ее, «так же как ты порой ел шпинат, чтобы угодить мне». Она говорила, что любит его, и ей больно видеть, как он совершает столь великодушный, но бессмысленный поступок. Она писала: «Я удивилась, узнав, что подобный брак не является незаконным, хотя должен бы быть таковым».

Мелвилл избрал более уравновешенную тактику. Он посоветовал Ричарду получить профессиональную консультацию в Принстоне, и Ричард послушал его. Он обратился к заведующему кафедрой Смиту и университетскому врачу. Смит сказал, что предпочитает держаться подальше от проблем в личной жизни своих сотрудников, и придерживался этой позиции, даже когда Фейнман заявил, что будет в контакте одновременно и с больной туберкулезом женой, и со студентами. Доктор же поинтересовался, осознаёт ли Ричард, насколько опасными могут быть последствия беременности, на что Ричард ответил, что они не собираются заниматься любовью. (Врач заметил, что туберкулез скорее болезнь инфекционная, чем заразная. Фейнман, как обычно, стал спорить с ним. Он подозревал, что подобное различие скорее признак ненаучного медицинского жаргона, и если и существует разница между этими понятиями, то незначительная.)

Ричард сообщил отцу, что они не собираются вступать в брак в следующем году. А через несколько дней, получив докторскую степень и находясь в новом статусе, он написал матери, с гордостью подписав письмо «Ричард Фейнман, доктор наук». Он постарался аргументированно ответить на каждое высказанное ею опасение. Ни Смит, ни университетский врач не видят опасности для его здоровья, написал он. И если брак с Арлин должен стать бременем, то это бремя он всем сердцем желал нести. Однажды, организовав переезд Арлин в санаторий, расположенный неподалеку, он радостно осознал, что напевает вслух, планируя их будущую совместную жизнь. Что касалось долга перед страной, то он готов был отправиться в любое место, куда бы его ни послали. Это все не имело никакого отношения к

великодушию, он не чувствовал себя обязанным выполнить обещание, данное много лет назад при других обстоятельствах. Женитьба на Арлин определенно отличалась от того, что он когда-то ел шпинат. Он не любил шпинат. Но ел он его не из-за любви к своей матери. «Ты все неверно поняла, — объяснял он. — Я просто не хотел, чтобы ты злилась на меня».

Фейнман все решил. Он переехал в квартиру на Вашингтон-роад, 44 сразу после выпускного и какое-то время даже не сообщал матери свой адрес, и, наконец, завершил последние приготовления. Как говорила Арлин, «в кратчайшие сроки».

«Словно камень скатился с души. Мое сердце снова переполняют чувства. Я задыхаюсь от эмоций. Любовь так велика и могущественна. Ее, безусловно, стоит хранить. Я знаю, ничто не разлучит нас. Мы выдержали испытание временем, и наша любовь сейчас так же прекрасна, как и в тот день, когда зародилась. Никакие сокровища никогда не делали людей столь великими, а любовь делает это каждый день. Мы не маленькие люди. Мы великаны… Я знаю, перед нами лежит будущее в мире, полном счастья. Сейчас и навсегда».

Его родители оставались напуганными и непоколебимыми. Ричард арендовал микроавтобус в Принстоне, укомплектовал его матрасами для путешествия и забрал Арлин в Сидархерсте. Она шла к нему в белом платье по цементной дорожке, залитой собственноручно ее отцом. Они пересекли бухту Нью-Йорка на пароме до Стейтен-Айленда. Это был их свадебный кортеж. Они расписались в мэрии, и на церемонии не присутствовали ни друзья, ни родственники. В качестве свидетелей из соседнего кабинета пригласили двух незнакомых людей. Опасаясь заразиться, Ричард не поцеловал Арлин в губы. После церемонии он помог ей спуститься с лестницы и повез в ее новый дом — благотворительную больницу в Браунс-Миллс.

Лос-Аламос

* * *

Фейнман снова попытался починить радиоприемник — в самый разгар величайшего события столетия. Кто-то раздал всем сварочные стекла, чтобы защитить глаза. Эдвард Теллер намазался солнцезащитным кремом и надел перчатки. Всем создателям бомбы приказали лечь лицом вниз, ногами — к эпицентру взрыва, находящемуся в тридцати двух километрах, где на тридцатиметровой стальной вышке установили разработанное ими устройство. В воздухе повисло напряжение. По дороге сюда три автобуса с учеными притормозили, чтобы подождать, пока один из них выходил: он чувствовал тошноту. Грозовой ливень обрушился на пустыню Нью-Мексико потоками влаги. Фейнман, самый молодой из членов группы, отчаянно пытался настроить сложный радиоприемник, установленный в военном грузовике. Радио было единственным средством связи с самолетом-корректировщиком, и оно не работало.

Его бросило в жар, руки дрожали. Он еще раз повернул ручки настройки приемника. Он знал нужную волну, но все равно переспрашивал снова и снова. Фейнман едва не опоздал на автобус, прилетев из Нью-Йорка после получения срочной зашифрованной телеграммы, поэтому не хватило времени, чтобы разобраться, как работали все эти переключатели. Растерянный, он попытался переустановить антенну, но ничего не изменилось: по-прежнему тишина. И вдруг — музыка, мрачный, сентиментальный вальс Чайковского, так некстати вырвавшийся из эфира. Коротковолновая передача на соседней частоте — прямиком из Сан-Франциско. Несомненно, радиоприемник работал, заключил Фейнман и снова принялся накручивать переключатели, пока не убедился, что всё в порядке. Последний раз настроился на частоту самолета. Снова тишина. Ричард решил довериться интуиции, оставил всё как есть, и в этот момент сквозь темноту прорвался хриплый голос. Радиоприемник работал все это время — просто самолет не посылал сигналов. «Тридцать минут до начала операции», — раздалось из приемника.

Вдалеке лучи от прожекторов, разрезая небо, метались между облаками и тем местом, где, как предполагал Ричард, установлена вышка. Фейнман пытался разглядеть сигнальные огни через сварочное стекло, но потом послал все к черту: оно было слишком мутным. Люди, разбросанные по холму, напоминали зрителей, смотревших фильм в 3D-очках. «Сборище сумасшедших оптимистов, — подумал Фейнман. — Откуда им

вообще знать о вспышке?» Он направился к транспортеру для перевозки оружия и сел на переднее сиденье, решив, что ветровое стекло этой машины послужит хорошей защитой от опасного ультрафиолетового излучения. В командном пункте, находящемся на расстоянии сорока километров от них, Роберт Оппенгеймер, худой, словно тень, в потертой шляпе прислонился к деревянному столбу и произнес вслух: «Господи, как тяжело подобные события отражаются на сердце». Как будто что-то подобное когда-либо случалось раньше.

В 5:29:45 утра 16 июля 1945 года местечко, которое по-испански называлось *Хорнадо-дель-Муэрто* — Долина Смерти, незадолго до рассвета озарилось вспышкой атомной бомбы. В следующее мгновение Фейнман поймал себя на том, что смотрит на фиолетовое пятно на полу транспортера. Ум ученого приказал уму гражданина поднять глаза. Земля была белой, и всё вокруг казалось безликим и плоским. Небо стало тускнеть, его цвет поменялся с серебристого на желтый и оранжевый. Свет отражался от вновь образующихся облаков в области ударной волны. «Откуда-то взялись облака!» — подумал Ричард. Эксперимент продолжался. Неожиданно Фейнман увидел, как светится ионизированный воздух, молекулы которого потеряли электроны при невообразимо высокой температуре. Каждый из присутствовавших запомнит это событие на всю жизнь. «И потом — ни звука, и засияло солнце. По крайней мере, так мне показалось», — вспоминал позже Отто Фриш. Это не тот свет, специфику которого органы чувств человека способны были бы как-то оценить, а научная аппаратура — измерить. Описывая события того дня, Исидор Раби и помыслить не мог о единицах освещенности: «Взрыв, обрушение. Этот свет словно проникал внутрь тебя. Это было нечто, что мы воспринимали не только глазами». Свет нарастал и угасал над погруженной в молчание долиной. Не раздавалось ни звука до тех пор, пока разрастающийся купол взрывной волны не достиг наблюдателей через сто секунд после детонации.

Треск, похожий на выстрел из винтовки, испугал корреспондента The New York Times, стоявшего слева от Фейнмана. «Что это?» — воскликнул он, чем невероятно развеселил ученых, которые его услышали.

«*То самое!*» — прокричал в ответ Фейнман. В свои двадцать семь он выглядел мальчишкой: долговязый, с широкой улыбкой. Раскат грома пронесся над холмами. Он был осязаем. Внезапно, благодаря звуку, событие стало восприниматься Фейнманом более реальным: он ощущал его по звуку. Энрико Ферми, находившийся ближе всех к взрыву, едва слышал его: он разорвал

бумажный лист и пытался рассчитать давление взрывной волны, наблюдая за тем, как клочки бумаги разносит внезапно возникший ветер.

Ликование, радостные возгласы, танцы — всё, что происходило в тот торжественный день, тщательно запротоколировали. На обратном пути один из физиков подумал, что Фейнман буквально выпрыгивает через крышу автобуса. Создатели бомбы праздновали и напивались. Они отмечали рождение «того самого» устройства, их гаджета. Они умны. Они смогли сделать это. После двух лет, проведенных в терракотовой пустыне, они наконец преобразовали материю в энергию. Особенно радовались теоретики, ведь им удалось провести абстрактные знания от их записи на грифельных досках до воплощения в абсолютное оружие — от идеи до огня. Это была настоящая алхимия. Алхимия, которая превратила металл, более редкий, чем золото, в элементы, более смертоносные, чем свинец.

Теоретики, привыкшие заниматься в основном умственным трудом, теперь корпели над решением задач не на бумаге, а в реальной осязаемой физически обстановке. Почти всем им пришлось работать в новых для них областях, например разрабатывать теорию взрывов или теорию изменения свойств материи при экстремально высоких температурах. Практичность развития этих направлений отрезвляла и будоражила умы ученых. Даже чистым математикам пришлось спуститься с небес на землю. Станислав Улам сетовал, что если раньше ему приходилось иметь дело исключительно с символами, то теперь он опустился настолько, что начал использовать в расчетах реальные цифры, и, что совсем унизительно, это могут быть дробные числа. У них не было возможности выбирать проблемы, решение которых выглядело бы элегантно и просто, как они привыкли. Здесь стояли определенные задачи, и касались они в основном требующих осторожного обращения материалов и взрывоопасных труб. Даже Фейнману приходилось прерывать расчеты диффузионных процессов, чтобы починить печатные машинки, а потом, отремонтировав их, проверять безопасность скапливающегося урана. Он придумал новый способ вычислений, совмещавший частично использование вычислительных устройств, а частично непосредственное участие человека в решении уравнений, которые теоретически не могли быть решены. Дух прагматизма захватил Лос-Аламос. Неудивительно, что теоретики ощущали такой подъем.

Позже они вспоминали терзавшие их сомнения. Оппенгеймер, вежливый и самокритичный поклонник мистики Востока, говорил, что, когда огненный шар распростерся на несколько

километров, закрывая небо (Фейнман тогда подумал, что это облака), у него в голове всплыл отрывок из «Бхагавад-Гиты»: «И вот стал я смертью, разрушителем миров». Руководитель испытаний Кеннет Байнбридж якобы ответил ему: «Мы все теперь подонки». Когда горячие облака рассеялись, Раби рассказал, что ощущал «холодок, но не тот, который чувствуешь по утрам, а тот, что пробегает по коже, когда думаешь, например, о родном деревянном домике в Кембридже…» Возбуждение и облегчение, последовавшие непосредственно за событием, заглушали такие мысли. Фейнман вспоминал, что лишь один человек был подавлен — тот, кто привлек его к участию в Манхэттенском проекте, Роберт Уилсон. Его слова тогда удивили Ричарда. Уилсон сказал: «Мы сотворили нечто ужасное». Большинство переосмыслило случившееся позднее. На месте события ученые, казавшиеся военным не поддающейся никаким регламентам многоязычной группой, в полной мере могли разделить их патриотические чувства, которые вскоре угасли. Три недели спустя после испытаний, через три дня после Хиросимы, в день, когда это же произошло в Нагасаки, Фейнман выстукивал на печатной машинке письмо матери.

«Мы прыгали от радости, ликовали и хлопали друг друга по плечам, жали руки, поздравляли… Все было прекрасно, но цель — следующая взорвется уже не в Нью-Мексико, а в Японии… Все, кто работал со мной, собрались в холле и с открытыми ртами слушали меня. Они все так чертовски гордились тем, что сделали. Может быть, скоро война закончится».

Эксперимент с кодовым названием «Тринити» стал эпохальным событием, изменившим психологию людей. Прелюдией стало торжественное и необратимое превосходство науки над природой. Последствием — жестокость и смерть в чудовищных масштабах. В момент, когда небывалый ранее свет озарил небо, человечество стало фантастически могущественным и фантастически уязвимым. История, рассказанная множество раз, становится легендой. Легенда «Тринити» высветила беспокойство послевоенного мира о том, что может ожидать человечество в будущем, и безответственное отношение человека к своей скоротечной жизни. Символы «Тринити» — длинная и тонкая тридцатиметровая вышка, которая вот-вот испарится; разорванные туши зайцев, разбросанные в радиусе двух с половиной километров от взрыва; песок, сияющий нефритово-зеленым, — ознаменуют собой самое ужасное событие своего времени. Мы знаем, к чему это привело. Мы знаем, что было после. Кровоточащие души ученых. Утрата чистоты и наивности — Хиросима. Доктор Стренджлав[104]. Полезная нагрузка,

радиоактивные отходы, взаимное гарантированное уничтожение[105]. Горькая ирония. Но с самого начала «нулевая отметка» была не чем иным, как отражающей поверхностью, слегка радиоактивной в том месте, где раньше стояла вышка из стали. Ричард Фейнман, все еще слишком молодой, писал: «Как прекрасно выглядит зеленый кратер посреди коричневой пустыни».

Человек с портфелем

Два с половиной года прошло с тех пор, как закрыли проект по разработке изотрона в Принстоне. Фейнман и вся команда Уилсона находились в подвешенном состоянии и полном неведении. Уилсон считал, что они солдаты, ожидающие приказа. «Полагаю, мы тогда оказались в самой плохой из возможных ситуаций, — позже вспоминал он. — Исследовательская группа, которой не поставили задачу, ученые, обладающие стойкостью и знаниями и не имеющие возможности где-либо их применить». Чтобы скоротать время, Уилсон решил поработать над созданием прибора для измерения нейтронов, в котором уже давно назревала необходимость. В то же время он ощущал, что ему не хватает объективной информации из Чикаго, где располагался временный центр, в котором работали Энрико Ферми и его «кучка» ученых-атомщиков. (Физик из Рима, носивший кожаный пиджак, использовал незадолго до этого приобретенный им англосаксонский словарь, чтобы придумать новый грубоватый ядерный жаргон.) В реакторе — смонтированном из графитовых стержней и урановых блоков, расположенном на университетском поле для игры в сквош и огороженном решеткой — могла возникнуть цепная реакция. Уилсон послал Фейнмана в Чикаго в качестве своего эмиссара.

Сначала, разумеется, состоялось краткое обучение искусству сбора информации. Уилсон велел Фейнману по очереди посетить все кафедры и предложить экспертную оценку.

— Пусть они детально опишут тебе проблему, настолько подробно, чтобы можно было сесть и работать над ней, не задавая больше вопросов.

— Но это нечестно! — возразил Ричард.

— Это нормально, и это то, что мы собираемся сделать, потому что только так мы сможем узнать все, что нам надо.

В начале 1943 года Фейнман отправился на поезде в Чикаго. Последний раз он путешествовал на Запад десять лет назад, после посещения выставки «Век прогресса». И ему действительно, как заправскому шпиону, удалось собрать нужные сведения. Он познакомился с Теллером, и они часто беседовали. Он ходил из кабинета в кабинет, изучая нейтронные эффективные сечения[106] и выход нейтронов. Он произвел впечатление на группу теоретиков, на одной из встреч показав им способ вычисления сложных интегралов, взять которые им долго не удавалось. «Мы все пришли посмотреть на этого дерзкого чемпиона по анализу, — вспоминал потом Филипп Моррисон. — И он нас не

разочаровал. Он с ходу объяснил, как быстро получить результат, которого в течение месяца добивался один из наших умных специалистов, занимающийся расчетами». Фейнман предложил разбить задачу на две части, а затем для решения одной из них воспользоваться таблицами функций Бесселя, а для другой прибегнуть к дифференцированию под знаком интегрирования. Ричард использовал этот способ еще в подростковом возрасте. Только теперь аудитория была больше и ставки выше.

Однако он не последний из тех одаренных ученых, благодаря которым металлургическая лаборатория стала легендой. Пять месяцев спустя из Колумбийского университета прибыл Джулиан Швингер, до этого успевший поработать в Радиационной лаборатории МТИ и с Оппенгеймером в Беркли. Швингер был ровесником Фейнмана, но контраст между этими двумя ньюйоркцами был поразительный. Их пути еще не пересекались. Швингер произвел на чикагских ученых огромное впечатление своим шикарным черным «кадиллаком» и щепетильным отношением к одежде. Тем жарким летом его галстук всегда был туго затянут. Один из коллег Швингера, конспектирующий то, что тот писал на доске, был буквально заворожен этим процессом. Джулиан, одинаково хорошо владевший и правой, и левой руками, казалось, изобретал новый стиль, позволявший ему одновременно решать два уравнения.

Это было странное время для физиков, стремящихся к тому, что и так составляло главную цель их карьеры. Впрочем, война отразилась на жизни молодых ученых невероятно мягко. Ее влияние на них несравнимо с потрясениями, которые испытывали молодые люди призывного возраста. Фейнман тем не менее с нетерпением ждал, когда же под давлением войны изменится и направление, в котором развивалась наука. Почти как шутку он воспринял предложение от Университета Висконсина поработать преподавателем на время отпуска без содержания. Это сулило хоть какую-то определенность, хотя на большее он и не рассчитывал. Теперь, находясь в Чикаго, Ричард решил отправиться в Мэдисон и побродить по студенческому городку инкогнито. В конце концов он представился секретарю кафедры и познакомился с некоторыми потенциальными коллегами, прежде чем уехать.

Он вернулся в Принстон с небольшим портфелем, набитым разными сведениями. Собрал Уилсона и остальных и рассказал им, как выглядела бомба зимой 1943 года, сколько потребуется урана и какова величина высвобождаемой энергии. Ему было тогда двадцать четыре года. Он стоял в рубашке с короткими рукавами в одной из аудиторий. Из коридора доносились шутки и

смешки. Фейнман не думал тогда об истории, а вот Пол Олум подумал. «Когда-нибудь снимут фильм об этом судьбоносном моменте, — говорил он Фейнману. — О том, как в Принстоне узнали о бомбе от только что прибывшего из Чикаго коллеги. Обстановка очень серьезная, все собравшиеся пришли в костюмах, и вот входит человек с портфелем. Насколько же реальная жизнь отличается от воображаемой».

Выбор гражданского руководителя проекта был весьма странным. Еврей, эстет, манерный и саркастичный человек, не упускавший возможности пофлиртовать, откровенно склонный к саморазрушению ученый, чей административный опыт ограничивался руководством калифорнийской группой физиков, Роберт Оппенгеймер, или Оппи, как его еще звали, заслужил уважение коллег скорее благодаря своему живому уму, чем глубиной выполненных им исследований. Он не испытывал интереса к экспериментам, а его стиль работы казался нетипичным для физика. И если он и ошибался, то это были явно глупые ошибки. Один из теоретиков как-то язвительно заметил, что «формула Оппенгеймера всегда выглядит верной для него самого, ведь если в них что и неправильно, так это множители». Позднее выражение «коэффициент Оппенгеймера» войдет в жаргон физиков для обозначения пропущенных в формулах символов π, i или знака минус. Его физический подход, по словам историка науки Ричарда Родса, напоминал «броски мяча с отскоками». «Он словно обстреливал мишень <…> но не стремился попасть в цель». Никто не понимал проблем квантовой электродинамики и физики элементарных частиц лучше, чем Оппенгеймер, но его личные интересы лежали скорее в области эзотерики. Отчасти именно поэтому, несмотря на то что он стал одним из самых влиятельных ученых, участвующих в выборе лауреатов Нобелевской премии по физике, сам он так и не получил ее. В науке, как и во всем остальном, его вкус был, что называется, утонченным. Оппенгеймер носил костюмы с преувеличенно большими плечами и широкими лацканами. Он трепетно относился к своему мартини, черному кофе и курительной трубке. Председательствуя на званом ужине комитета, проходившем в стейк-хаусе, он ожидал, что коллеги последуют его примеру и закажут стейк с кровью. Когда же кто-то попытался заказать хорошо прожаренный кусок мяса, Оппенгеймер повернулся к нему и произнес серьезным тоном: «Почему бы вам не взять рыбу?» Его нью-йоркский бэкграунд был именно таким, к какому стремилась и от которого неумолимо отдалялась мать Ричарда Фейнмана. Как и Люсиль, Оппенгеймер вырос на Манхэттене в достатке и посещал культурно-

религиозную школу (Ethical Culture Fieldston School). Позже, когда Ричард еще только проникался новым, прагматичным американским духом в физике, Оппенгеймер уехал учиться в Кембридж и Геттинген и полностью впитал в себя стиль интеллектуальной Европы. Он не довольствовался знанием только современных языков. И если для физиков его поручения на санскрите казались забавными, то генерал Гровс считал их еще одним подтверждением гениальности, а именно гения он и искал. Гровс считался прекрасным администратором и не придавал особого значения администраторским способностям руководителей проектных работ. И, к удивлению большинства, интуиция не подвела его. Талант Оппенгеймера проявлялся прежде всего в его лидерских качествах. Он завоевал уважение Фейнмана, как и многих других, постоянно интересуясь их личной жизнью. Он позвонил из Чикаго, чтобы сообщить, что нашел для Арлин санаторий в Альбукерке. До этого Фейнману еще ни разу не приходилось отвечать на междугородные звонки.

При выборе местности для работы над проектом атомной бомбы мнение Фейнмана и мнение военных совпали. Каким бы невероятным это ни казалось потом, безопасность и недосягаемость такого места для вражеских атак были так же важны, как и изоляция общительных и непредсказуемых ученых. Оппенгеймер же давно влюбился в невероятно красивые пейзажи Нью-Мексико, где воздух прозрачен, как стекло, а корявые сосны прорубают себе путь в стенах каньона. Оппенгеймер стал носить ковбойские рабочие рубашки и пряжки на ремне, популярные на западе. Он провел генерала Гровса по извилистой дороге через рощу к плато, на которой в предгорье Сангре-де-Кристо располагалась Лос-Аламосская школа для мальчиков. Не все, однако, разделяли такую любовь к местным пейзажам. Лео Силард, физик из Будапешта, первым объяснивший процесс выделения энергии в цепной реакции и одно время так настаивавший на проекте создания бомбы, заявил: «В таком месте невозможно сосредоточиться. Любой, кто попадет сюда, обречен на безумие».

Нетерпеливые участники Принстонской группы подписались все скопом. Уилсон, вначале так спешивший увидеть это место, позже с не меньшим рвением жаловался на грязь и неразбериху, на то, что вместо лаборатории возвели какой-то балаган и даже водопровод не удосужились проложить как следует. Гровс и Оппенгеймер постоянно спорили о том, как обеспечить секретность. И Фейнман об этом знал. Из Принстона по железной дороге доставляли в деревянных ящиках детали циклотрона и оборудование для подсчета нейтронов. Принстон поставлял и

основное оборудование для новой лаборатории, вслед за которым прибыл из Гарварда тщательно демонтированный циклотрон, а также другие генераторы и ускорители. Вскоре Лос-Аламос стал самым оснащенным физическим центром в мире. Вслед за деревянными ящиками из Принстона стали прибывать и ученые. Ричард и Арлин приехали с первой партией в воскресенье, 28 марта. По инструкции всем следовало купить билеты в любом направлении, кроме Нью-Мексико. После непродолжительных колебаний противоречивая натура Фейнмана одержала верх над здравым смыслом. Он рассудил, что если никто больше не ехал в Нью-Мексико, то, приобретая билеты туда, он не вызовет подозрений. Продавец в кассе тут же оживился и спросил: «Оу, так все эти ящики для вас?»

Железная дорога обеспечила Арлин креслом на колесах и предоставила отдельное купе. Арлин слезно упрашивала Ричарда заплатить за удобства, намекая, что заслуживает, по крайней мере, шанс испытать все то, что полагалось испытывать любимой жене. Переезд на запад сулил им бескрайнее небо и неизвестное будущее, окончательно вырвав их из детства. Арлин плакала ночами, беспокоясь о будущем, и рассказывала Ричарду о своих мечтах: занавески на окнах в их доме, чаепития с его студентами, игра в шахматы у камина, чтение комиксов в постели по воскресеньям, вылазки на природу с палатками и сын по имени Дональд.

Цепная реакция

У Ферми в брикете урана и графита, выпиленном и собранном профессиональными краснодеревщиками на корте Чикагского университета 2 декабря 1942 года, находилась первая в мире критическая масса радиоактивного вещества. Между его черными графитовыми стержнями первая в мире искусственно вызванная цепная реакция длилась около получаса. Но это была медленная реакция, для бомбы же требовалась быстрая, протекающая менее чем за миллисекунды. Естественный эволюционный переход от чикагского, высотой в два этажа, эллипсоида к сферической урановой бомбе размером с бейсбольный мяч, которая была взорвана на проекте «Тринити», был невозможен. Для подобного перехода от большого реактора с медленно протекающей реакцией к бомбе, где реакция протекает быстро, необходим заметный скачок. Могло быть несколько различных промежуточных этапов.

И все же еще одно из возможных решений пришло в голову Фейнмана в апреле 1943 года, когда он находился в машине у ворот пропускного пункта Лос-Аламоса. Атомы водорода замедляли нейтроны. Это открытие Ферми сделал много лет назад. Вода же была дешевым веществом, в состав которого входил водород. Раствор урана в воде мог бы стать мощным компактным реактором. Фейнман ждал, пока охранник устранит ошибку, вкравшуюся в его пропуск. Справа и слева от ворот было протянуто ограждение из колючей проволоки. За ним находились не лаборатории, там располагалось лишь несколько одноэтажных зданий и незавершенных построек, поднявшихся словно из грязи в конце этой зимы. Строго говоря, такие постройки, которые в армии называли мобилизационными, представляли собой наспех возведенные на бетонном фундаменте деревянные каркасные дома, обитые простым сайдингом, с битумными крышами. Возвращаясь из Санта-Фе, расположенного более чем в пятидесяти километрах отсюда, надо было проезжать по укатанной грунтовой дороге, врезавшейся прямиком в отвесные скалы. Фейнман был не единственным из физиков, никогда не уезжавшим западнее Чикаго. Ученых предупредили, что на время работы, по требованию армейских руководителей проекта, потребуется полная изоляция, но никто до конца не осознавал, что именно имеется в виду. Поначалу единственным средством связи с внешним миром была телефонная линия, проложенная лесничеством. Чтобы позвонить куда-то, приходилось крутить ручку, расположенную сбоку.

Дожидаясь, пока военная полиция одобрит его пропуск, Фейнман провел в уме некоторые расчеты для гипотетического промежуточного реактора, который можно было назвать водяным бойлером. Вместо урановых и графитовых стержней в нем можно было бы использовать растворенный в воде уран с большим содержанием изотопа 235. Водород, присутствующий в воде, позволял увеличить эффективность во много раз. Ричард попытался сообразить, сколько понадобится урана. На протяжении нескольких недель он продолжал обдумывать эту задачу, то откладывая идею, то снова возвращаясь к ней. Он детально продумывал геометрию столкновений нейтронов с водородом и наконец пришел к неожиданной мысли. Возможно, в идеальном варианте потребуется меньше урана, чем предполагалось ранее. Ричард преобразовал уравнения таким образом, чтобы можно было бы свести решение к использованию минимального принципа, его любимого способа в тот период. Он разработал теорему для пространственного распределения расщепляемого вещества и обнаружил, что его неоднородность распределения не будет иметь принципиального значения при использовании реактора столь небольшого размера. Когда обогащенный уран наконец начал поступать в Лос-Аламос, был изготовлен вариант бойлера в виде тридцатисантиметровой сферы, расположенной внутри изготовленного из черного оксида бериллия куба, размеры граней которого составляли порядка метра. Куб был установлен на столе, огороженном тяжелой бетонной стеной на дне укрытого соснами каньона Омега. И все это сооружение находилось на расстоянии нескольких километров от основного объекта. Это был первый крупномасштабный экспериментальный источник нейтронов, и впервые угроза взрыва была вполне реальна. Для всех теоретиков, принимавших участие в проекте, именно элементы первой проблемы стали лейтмотивом их временной работы: траектории нейтронов, смеси малоизученных металлов, радиация, тепло, вероятность.

Пока тянулся слякотный апрель, ученые продолжали прибывать в Лос-Аламос, и их количество уже достигло тридцати. Они приезжали во временный офис в Санта-Фе, а затем исчезали в пустынной местности, окружающей этот городок. Если бы они посмотрели на место своего назначения с воздуха, то увидели бы, что комплекс, в который они направляются, расположен на плоском выступе, образованном застывшей лавой, извергнутой из кратера спящего вулкана. Но пока они знали лишь номер абонентского ящика для писем — P. O. Box 1663, и в их водительских правах появилась специальная отметка «B». Но не

все меры, предпринятые, чтобы обеспечить безопасность, могли сдерживать интерес и развеять подозрения местного населения.

Любой местный полицейский, остановивший Ричарда Фейнмана на дороге к северу от Санта-Фе, увидел бы удостоверение некоего инженера, в котором вместо имени указывался только номер 185, занесенный в *специальный список* «В», и подпись которого *не требовалась*. Само название Лос-Аламос едва ли что-то значило. Каньон? Школа для мальчиков? Подъезжая к объекту, ученые чаще всего могли видеть бывшего университетского преподавателя, забрасывающего назойливыми инструкциями бригаду военных строителей. Если Оппенгеймер оказывался рядом и мог поприветствовать вновь прибывших лично, из-под полей его уже тогда знаменитой шляпы раздавалось: «Добро пожаловать в Лос-Аламос, но, черт возьми, кто вы такой?» Первым знакомым человеком, которого встретил Фейнман, был его товарищ по Принстону Пол Олум: тот стоял прямо на дороге с папкой-планшетом и отмечал каждый прибывший грузовик. Первое время Ричарду приходилось спать на одной из составленных рядком кроватей на балконе здания школы. Еду доставляли из Санта-Фе в коробках для ланча.

Вокруг царила суматоха. Стройка была в самом разгаре: цемент застывал на открытом воздухе, отовсюду раздавались звуки циркулярной пилы, и только теоретики имели все необходимое для работы — одну грифельную доску на колесиках. Официальная церемония «закладки первого камня» состоялась 15 апреля. Оппенгеймер пригласил всех теоретиков, а также некоторых физиков-экспериментаторов и химиков, чтобы официально объявить о том, на что раньше только намекали. Им предстояло создать бомбу, оружие, работающее устройство, механизм, способный сконцентрировать потоки нейтронов, необходимых для ядерной реакции, в небольшом объеме пространства в течение малого интервала времени для того, чтобы спровоцировать взрыв. В начале выступления Фейнман осторожно записал в своем блокноте: «Не обязательно говорить о том, что мы должны обсудить, скорее, *стоит* обсудить то, над чем мы работаем». Командам из Беркли и Чикаго было известно значительно больше. По крайней мере, складывалось такое впечатление. Для расщепления атома обычного урана требовалось, чтобы он столкнулся с быстрым, обладающим большой энергией нейтроном. Каждый атом сам по себе был маленькой бомбой: он распадался с выделением энергии и высвобождением новых нейтронов, которые, в свою очередь, ударяли соседние атомы урана. Нейтроны же, как правило, замедлялись, и их скорость становилась ниже порогового

значения, необходимого, чтобы вызвать расщепление других атомных ядер. Цепная реакция в этом случае сама себя не поддерживала. А вот более редкий изотоп урана-235 был способен распадаться при столкновении с медленными нейтронами. Если бы основная масса урана состояла из таких менее стабильных атомов, нейтроны чаще находили бы свои цели, и цепная реакция могла бы поддерживаться более длительное время. При использовании чистого урана-235 взрывную реакцию получить можно, но его на протяжении нескольких месяцев удавалось получать лишь в микроскопических количествах. Другой способ спровоцировать цепную реакцию заключался в том, чтобы поместить радиоактивную массу в металлический купол, от внутренней поверхности которого нейтроны могли бы отражаться по направлению к центру, что привело бы к усилению их воздействия. Перед аудиторией, состоящей из тридцати человек, каждый из которых к этому моменту уже сам излучал почти осязаемую энергию нервозности, с описанием различных свойств куполов выступил худощавый советник Оппенгеймера Роберт Сербер. Фейнман быстро записывал: «…отражает нейтроны <…> поддерживает бомбу на уровне <…> критической массы <…> не поглощающий равномерный фактор 3 в массе <…> *хороший* взрыв…» Он быстро набросал несколько диаграмм. От обсуждения вопросов ядерной физики перешли к рассмотрению проблем, для решения которых надо было использовать методы гидродинамики, науки отнюдь не молодой, но от этого не ставшей менее понятной. Пока нейтроны выполняли свою работу, бомба нагревалась и расширялась. В ключевые моменты времени возникали ударные волны, перепады давления, краевые эффекты. Их сложно было рассчитать, и долгое время теоретики проводили расчеты вслепую.

Создание бомбы в корне отличалось от разработки теории квантовой электродинамики, где почва уже была подготовлена великими учеными. Здесь задачи были новыми, лежащими на поверхности, и поэтому — что немало удивляло Фейнмана — простыми. Ричард добился успехов, решив ряд вопросов, поднятых в первых лекциях, вознаградив себя за длительный период блуждания во тьме чистой теории. Однако возникали всё новые сложности.

«Многое из того, что необходимо было сделать, предстояло сделать впервые», — писал позже анонимный летописец тех событий, тайно работавший на другое лицо. Этим летописцем был Фейнман, занявшийся столь несвойственным ему делом по просьбе бывшего декана Гэрри Смита. Пытаясь подытожить те

проблемы, что встали перед теоретиками в Лос-Аламосе, Ричард добавил: «без соответствующей подготовки». И далее: «материалы, которые долгое время были практически недоступны». Он написал «материалы», потому что не мог заставить себя написать *уран* или *плутоний* после нескольких лет эвфемизмов вроде *трубосплава* и *49*. Теоретики ожидали трубосплав с таким же нетерпением, как и экспериментаторы. Могли потребоваться и более обычные материалы, так что по запросу лаборатории из Форта Нокс доставили две полусферы из чистого золота, каждая размером с половину баскетбольного мяча. Однажды, проводя экскурсию для Смита, Фейнман обратил его внимание на то, что он рассеянно пинал одну из них, а теперь она служила ограничителем для двери. На запрос о поставке осмия, плотного нерадиоактивного металла, они получили отказ, когда выяснилось, что требуемое количество превышало все мировые запасы. Ну а для того, чтобы получить требуемое количество урана-235 и плутония, лаборатории пришлось бы ждать, пока мировые запасы увеличатся в миллионы раз.

Все, что было известно об этих материалах на тот момент, было получено в результате экспериментов, проведенных с крошечными, буквально невидимыми образцами. Эксперименты эти были сложными и дорогостоящими. Даже измерение плотности плутония стало трудной задачей для чикагской команды. Первая песчинка плутония была доставлена в Лос-Аламос только в октябре 1943 года. Чтобы получить более крупные поставки, требовалось время, но и в этом случае фактически можно было провести лишь один полноценный эксперимент. На большинство вопросов по-прежнему приходилось отвечать только с помощью карандаша и бумаги. Вскоре стало ясно, что процесс разработки теории в Лос-Аламосе будет похож на хождение по канату без страховки.

Команда теоретиков была небольшой — всего тридцать пять физиков и группа расчетчиков, в задачи которой входило предоставление результатов анализа и прогнозов во все значительно более крупные подразделения практиков: экспериментальное, артиллерийское, оружейное, химическое и металлургическое. Анализ и прогнозы. Другими словами, что произойдет, если?.. Теоретики Лос-Аламоса не могли позволить себе роскошь раздумывать о том, как раскрыть простые тайны, такие как излучение света атомами водорода или распространение идеальной волны в идеальном газе. Материалы, находящиеся под рукой, были далеко не идеальны, и теоретики так же, как и экспериментаторы, двигались на ощупь, разгребая завалы на территории под названием нелинейная математика.

Важные решения необходимо было принимать до того, как станет возможным провести эксперименты. В своем анонимном дневнике Фейнман обозначил основные вопросы, которые стояли перед ними:

• *Каких размеров должна быть бомба (будь то сферический заряд с плутонием или взрывное устройство с ураном)?* Какова критическая масса и критический радиус для каждого из материалов, внешние размеры, при соблюдении которых будет поддерживаться цепная реакция?

• *Из каких материалов лучше изготавливать купол, от которого нейтроны будут отражаться обратно к бомбе?* Металлурги должны были приступить к изготовлению купола задолго до того, как сам эксперимент станет возможен.

• *Насколько чистым должен быть уран?* На основе этих расчетов принималось решение о том, надо ли строить огромный комплекс для проведения третьей стадии очистки в Ок-Ридже.

• *Сколько тепла, света может выделиться, какими могут быть последствия ядерного взрыва в атмосфере?*

Линкор и Торпедный катер

Двухэтажное здание, в котором базировались ученые, было выкрашено в зеленый цвет и называлось «корпус Т», то есть теоретический. Оппенгеймер превратил его в штаб-квартиру и интеллектуальный центр лаборатории. Ответственным он назначил Ханса Бете, знаменитого физика-ядерщика из Корнеллского университета. Коридоры в здании были узкие, а стены тонкие, и во время работы ученые периодически слышали рокочущий смех Бете и предполагали, что где-то поблизости должен был находиться и Фейнман.

Бете и Фейнман. Многие считали эту парочку весьма странной. Педантичный немецкий профессор и молодой шустрый гений. Кто-то даже придумал для них прозвища: Линкор и Торпедный катер. Их совместный метод работы заключался в том, что Бете прокладывал путь, как тяжеловесный гигант, в то время как Фейнман сновал туда-сюда, жестикулируя и выкрикивая со своим шероховатым нью-йоркским акцентом что-то вроде «Ты с ума сошел!» или «Это бред какой-то!». Бете отвечал ему всегда спокойно, как и подобает профессору, выискивал способ решить задачу аналитически и объяснял, что это не он, а Фейнман сошел с ума. Ричард выслушивал, начинал расхаживать из стороны в сторону, а потом сквозь стены до остальных вновь доносился его крик: «Нет, нет, ты неправ!». Проявлявший беспечность там, где Бете был аккуратен, он был именно таким, какого искал Бете, — бескомпромиссным, способным на творческую критику, и, что очень важно, он мог заметить нестыковки задолго до того, как идея перерастет в нечто большее. Свежие мысли и нестандартные решения — в этом был весь Фейнман. Он никогда, в отличие от Бете, лишний раз не проверял каждое интуитивное предположение. Они не всегда работали, поэтому более осторожные коллеги даже вывели эмпирическое правило: если Фейнман сказал что-то три раза, значит, это верно.

Представить лучшего лидера команды теоретиков, чем Бете, вряд ли было возможно. Благодаря опубликованным в 1930-х годах трем потрясающим обзорным статьям, в которых рассматривалось общее состояние ядерной физики, он стал признанным авторитетом в этой области. Оппенгеймеру было известно, что Бете не просто систематизировал имеющиеся знания, он собственноручно вычислил и проверил все, что было написано в каждой строке. Он работал над теорией вероятности и теорией ударных взрывных волн, изучал пробивную способность

брони артиллерийскими снарядами (эта работа, которую он выполнил, желая внести вклад в подготовку к маячащей на горизонте войне, была немедленно засекречена министерством обороны, так что даже сам Бете, не говоря уже об обычных американских гражданах, больше никогда о ней не слышал). За объяснение термоядерных реакций, происходящих на Солнце, он получит Нобелевскую премию, а за время своей работы в Корнелле, куда он приехал в 1935 году, он смог превратить этот университет в один из новых мировых центров в области физики, так же как Оппенгеймер и Эрнест Лоуренс преобразовали Беркли.

Оппенгеймер очень хотел заполучить Бете в свою команду, и ему пришлось приложить усилия, чтобы убедить его в реалистичности проекта атомной бомбы и уговорить оставить Радиационную лабораторию МТИ, где тот работал с 1942 года. (Когда Бете согласился, Оппенгеймеру отправили телеграмму с заранее приготовленным шифрованным сообщением на детском бланке «Вестерн Юнион».) На участии Бете настаивал и его друг Эдвард Теллер, который, впрочем, немало удивился, узнав, что Оппенгеймер назначил Бете, очень прагматичного человека, руководителем теоретического подразделения — команды, состоящей из очень самолюбивых, невероятно эксцентричных, темпераментных, ранимых и непостоянных теоретиков и специалистов-расчетчиков.

Чтобы изучить физику, Бете пересек всю Европу. Сначала он учился в Мюнхене у Арнольда Зоммерфельда[107], пророчески предсказывавшего будущих лауреатов Нобелевской премии, а затем в Кембридже и Риме. В Кембридже его интересовали лекции Дирака по квантовой механике, однако Бете перестал посещать их, когда обнаружил, что Дирак, чьи формулировки были безупречны, просто читал вслух свою книгу. В Риме, где он стал первым иностранным студентом-физиком за всю историю университета, его внимание привлек Ферми. Они даже работали вместе, хотя и недолго. Именно от него Бете перенял стиль, который называл легкостью подхода. Его первый великий учитель Зоммерфельд всегда начинал решение задач с того, что педантично отбирал соответствующее снаряжение из математического арсенала. Он предпочитал решать уравнения и только потом, получив результат, находил им соответствующее физическое обоснование. Ферми же, напротив, сначала начинал прокручивать задачу в уме, обдумывал, какие силы в ней задействованы, и только потом записывал необходимые уравнения. В век абстрактной, не визуализируемой квантовой механики придерживаться «легкого» подхода было непросто. Ханс Бете смог совместить подход Ферми с почти неудержимой

страстью к вычислению реальных чисел, содержавшихся в уравнениях, что было далеко не типично. Большинство физиков с удовольствием растягивали уравнения на целую страницу, погружаясь в алгебраические преобразования, и не задумывались о реальных значениях или диапазонах изменения тех реальных величин, которые обозначены в этом уравнении символами. Для Бете же теория обретала смысл только в тех случаях, когда позволяла рассчитать реальные значения физических параметров.

Из Рима Бете вернулся в Германию, где научная элита оказалась практически на краю пропасти. В древних стенах Тюбингенского университета, где Бете работал ассистентом профессора, он стал встречать студентов со свастикой на наручных повязках. Была осень 1932 года. А наступившей вслед за ней зимой власть перешла к Гитлеру. В феврале горел Рейхстаг, а к весне четвертая часть всех физиков страны, работавших в университетах, была уволена. В соответствии с первыми антисемитскими законами немедленному увольнению подлежали все государственные служащие, не принадлежавшие к арийской расе. Сам Бете, чей отец был прусским протестантом, не считал себя евреем, но так как его мать была еврейкой, стало ясно, что может ожидать его в нацистской Германии. Последовало немедленное отчисление с работы на факультете, куда он незадолго до этого устроился. В Европе поднималась самая большая волна интеллектуальной миграции, и у Бете был только один выбор — присоединиться к ней. Сообщество ученых было многоязычным, опыт международных исследований и чтение лекций за рубежом несколько смягчали переход к обретению статуса эмигранта. Бете прибыл в Новый Свет в 1935 году.

Фейнман знал имя Ханса Бете со студенческой скамьи. Библия Бете, три его знаменитые статьи по ядерной физике, составляли основу курса в МТИ. Однажды Ричард видел Бете издалека на одном научном собрании. На первый взгляд он показался ему довольно некрасивым: нескладный, крепко сложенный, с размытыми чертами лица, со светло-каштановыми волосами, поднимавшимися дыбом над широким лбом. Первое впечатление Фейнмана развеялось, когда они встретились в Санта-Фе, откуда готовились отправиться в Лос-Аламос. У тридцатисемилетнего Бете было тело скалолаза, и он много времени проводил в походах по каньонам или поднимался на вершины гор, расположенных неподалеку от лаборатории. Он излучал уверенность и энергию. Вскоре после прибытия в Лос-Аламос из-за того, что теоретики постоянно то приезжали, то уезжали, рядом с Бете не осталось тех, с кем он мог бы

посоветоваться. Виктор Вайскопф, его заместитель, отсутствовал. Не было и Теллера, который, впрочем, сразу же предпочел отстраниться, нежели содействовать. Не только Оппенгеймер предпочел ему Бете, но и Бете обошел его вниманием, назначив своим заместителем Вайскопфа. Однажды Бете завернул в кабинет Фейнмана, и вскоре по коридору разнесся его раскатистый смех.

Бете перестал проводить ознакомительные беседы и занялся разработкой метода расчета мощности ядерного взрыва. Сербер вывел формулу для простого случая, когда масса урана или плутония чуть превышала критическую. Однако рассчитать мощность бомбы, масса которой существенно превышала критическое значение, было значительно сложнее. Вместе с Ричардом они разработали классически точный метод, который стал известен как формула Бете — Фейнмана. Рискованные практические аспекты ядерной физики порождали и другие вопросы. Существовала вероятность, что в небольшом куске урана или плутония массой даже меньшей, чем критическая, может возникнуть неуправляемая цепная реакция — предетонация. Химические взрывчатые вещества были более стабильными. В первые же месяцы работы Бете поручил Фейнману заняться решением этой проблемы. Всегда имеется вероятность, пусть и достаточно невысокая, присутствия рассеянных (блуждающих) нейтронов: они могут образоваться при спонтанном расщеплении отдельных атомов, во время ядерной реакции, спровоцированной примесями, или попадать на Землю с космическими лучами. Сами по себе космические лучи на высоте Лос-Аламоса были способны привести к нагреву урана-235 гораздо сильнее, чем в лабораториях на уровне моря. Не разобравшись в причинах предетонации, ученые не могли понять, как будет происходить детонация, потому что они не знали, какие процессы будут протекать в бомбе в момент перехода массы от подкритического состояния к надкритическому. Фейнман долгое время размышлял о том, какими могут быть свойства вещества в своеобразных условиях — в подкритическом состоянии, с которым науке не приходилось сталкиваться раньше. Он пришел к выводу, что искать решение проблемы следует, основываясь не на «усредненном поведении» атомов, а рассматривая флуктуации: вспышки нейтронной активности в разных местах могут возникать спонтанно и далее распространяться по цепочке, пока не угаснут. Математический аппарат, в данном случае — теория вероятностей, едва ли мог предоставить инструменты для решения столь сложных задач. Фейнман обсудил эту проблему с польским математиком Станиславом Уламом. Подход,

предложенный им, способствовал появлению нового направления в теории вероятностей, названного теорией ветвящихся процессов. Фейнман разработал теорию флуктуаций, в основе которой — простые для расчета вычисления вероятностей короткой цепной реакции: нейтрон расщепляет атом, выделяющиеся при этом нейтроны находят другие цели, но потом цепь прерывается. Некоторые флуктуации, которые можно было отследить по сигналам счетчика Гейгера, приводили к единичному акту расщепления. Другие возникали в результате цепной реакции. Как и в большинстве случаев, Фейнман подошел к решению этой задачи, используя геометрический подход, допуская, что взрыв в определенном единичном объеме повлечет за собой взрыв в другом единичном объеме через известный интервал времени. Он нашел практичный способ расчета вероятности любой преждевременной реакции. Этот метод можно было использовать даже для фрагментов урана неправильной формы, которые потом будут взрывать друг друга в бомбе, сброшенной на Хиросиму.

В Фейнмане Бете нашел свою идеальную противоположность. Этот молодой человек был сообразительным, смелым и амбициозным. Искать способ решения одной задачи, разобравшись с проблемой, переходить к другой — это был не его метод: он хотел работать над всем сразу. Бете назначил его руководителем группы, хотя на эту должность претендовали такие известные физики, как Теллер, Вайскопф, Сербер и руководитель британской группы в Лос-Аламосе знаменитый Рудольф Пайерл. Со своей стороны Фейнман, который за двадцать пять лет жизни и весь срок обучения никогда не был наставником, стал проникаться симпатией к Бете.

Диффузия

Фейнману пришлось заняться подбором кадров. Он пригласил одного из своих товарищей по студенческому братству. Пытался даже нанять собственного отца. Но Мелвилл сильно сдал, высокое давление все больше подрывало его здоровье, и Люсиль хотела, чтобы он вел более оседлую жизнь. Тем не менее Ричард написал матери о появившейся вакансии снабженца. Ему хотелось, чтобы отец сам увидел тот интеллектуальный мир, о котором он мечтал для сына. «Тут ему будет спокойнее, и вообще, он отвлечется от своего бизнеса. К тому же здесь собралась компания ученых самого высокого уровня, поэтому, уверен, ему понравится… — писал Ричард. — Закупки сейчас дело непростое, да и происходит всё так поспешно <…> это чертовски важная позиция и в проекте, и в нашем научном рискованном предприятии».

Из этой идеи ничего не вышло, но весной 1944 года Фейнман увидел знакомую фамилию в списке физиков, ищущих работу: Ти Эй Велтон. Ричард заполнил заявку. Его друг работал преподавателем в Иллинойском университете и, оставаясь человеком гражданским, преподавал на военных курсах, с грустью наблюдая, как более известные сотрудники кафедры исчезали из поля зрения, отправляясь в таинственные места. Своим предложением Фейнман буквально спас его. Как у многих физиков того времени, объем знаний Велтона был значительно больше, чем могли представить офицеры национальной безопасности. Когда ему назначили встречу в номере отеля в Чикаго, а потом предложили бросить всё и переехать в Нью-Мексико, Велтон понял, что это было именно то предложение, от которого невозможно отказаться. В день приезда Фейнман отправился с ним в длительную прогулку в ущелье, которое с некоторых пор стали называть каньоном Омега. Велтону удалось даже сильно удивить Ричарда уверенным ответом на первый же вопрос.

— Ты знаешь, чем мы тут занимаемся?

— Да, — сказал Велтон. — Вы делаете атомную бомбу.

Фейнман быстро пришел в себя от такого поворота в разговоре.

— А ты знал, — протянул он, — что мы собираемся использовать новые элементы?

Ти Эй признался, что новости о плутонии до Иллинойса не дошли. Во время прогулки легкие Велтона лихорадочно пытались наполниться, вдыхая разреженный воздух на высоте двух тысяч

метров над уровнем моря. Фейнман же буквально опьянил его своим рассказом. Они говорили о бомбе. Теперь существовало два проекта. Урановая бомба, работающая по пушечной схеме с урановой пулей, поражающей цель из урана для создания критической массы. Принцип действия плутониевой бомбы будет иным. Взрыв должен происходить внутри полой сферы в результате воздействия взрывов других взрывчатых веществ, окружающих сферу. Поэтому сжатие горячих атомов плутония будет происходить не в одном направлении, как в пушечной схеме, а в трех. Имплозивный[108] метод, как его точно назвали, казался все более привлекательным, отчасти потому что с урановой бомбой возникала масса проблем. (Фейнман не упомянул о своей первой реакции на заявление изобретателя имплозивного метода Сета Неддермайера, когда тот впервые сообщил об экспериментах, проводимых со взрывчатыми веществами, расположенными вокруг стальных труб. Тогда Ричард, сидевший на последнем ряду, поднял руку и сказал: «Это плохо пахнет».)

Стараясь держаться поближе к отвесным скалам каньона и слушая Фейнмана, Велтон начал осознавать, как много пришлось Ричарду потрудиться, чтобы зарекомендовать себя надежным и умным специалистом, какое впечатление он как молодой ученый должен был произвести на руководителей проекта, чтобы они поняли, какую пользу он может принести. И надо признать, Фейнман весьма преуспел в этом. Они немного поговорили об Арлин. Та чувствовала себя неважно и бо́льшую часть времени проводила лежа на деревянной кровати в маленьком пресвитерианском санатории, расположенном чуть в стороне от шоссе, близ Альбукерке. Фейнман навещал ее почти каждые выходные. В пятницу или субботу он, на попутках или одалживая у кого-нибудь машину, отправлялся по асфальтированной дороге в сторону Санта-Фе. Вне лабораторных стен Ричард снова устремлялся мыслями к чистым теориям квантовой механики. Время, когда он ехал в машине или когда Арлин спала, он использовал для того, чтобы продолжать разрабатывать идеи, изложенные в диссертации. Велтон помнил, как отчаянно его друг противился использованию способа упрощения динамических задач методом Лагранжа, когда они еще были неоперившимися второкурсниками МТИ. Его не переставало удивлять и восхищать, насколько далеко Фейнман продвинулся в переформулировании основ квантовой механики, используя метод Лагранжа. Ричард в общих чертах обрисовал идею о том, чтобы выразить квантовое поведение через сумму всех возможных пространственно-временны́х траекторий частицы, и признался

Велтону, что понятия не имеет, как и где это применить. У него был замечательный рецепт желе, которое пока не загустело.

Велтон стал четвертым физиком в группе, которую возглавил Фейнман. Она теперь называлась Т-4, «Проблемы диффузии». Фейнман был очень энергичным и весьма оригинальным руководителем. Он упорно подталкивал членов своей группы к тому, чтобы они следовали его оригинальным идеям. Порой кто-то из них возражал, заявляя, что предложение Фейнмана было слишком странным или слишком сложным. Тогда Ричард настаивал, чтобы они провели расчеты с помощью механических калькуляторов. Неоднократно его предложения оказывались успешными, и он заслужил их доверие и лояльное отношение к проведению широкого спектра экспериментов. Следуя его примеру, остальные тоже пытались предлагать что-то новое. Никакая идея не считалась слишком невероятной. В то же время Фейнман бывал довольно резким, если работа не соответствовала его высоким стандартам. Даже Велтону не удалось избежать его унизительных упреков и его «определенно грубого юмора», на который «только дурак захотел бы нарваться дважды». И все же Фейнману удалось создать в группе атмосферу, не чуждую остроумию. Он научился одним движением подбрасывать карандаш со стола и ловить его и научил этому всех членов своей группы. Однажды, в разгар разлетающихся повсюду слухов о том, что ученым, работающим в технической сфере, будет выдана военная форма, в кабинет вошел Бете, чтобы обсудить результаты расчетов. Фейнман сказал, что придется производить вычисления вручную, и Бете согласился. Тогда Ричард повернулся и скомандовал: «Карандаши, вычислять!»

Тут же все карандаши одновременно взлетели в воздух. «Есть карандаши! — прокричал Фейнман. — Вычисляйте!» Бете засмеялся.

Диффузия, это почти неуловимое, ускользающее напоминание о физике, изучаемой на первом курсе, оказалась в центре всех проблем, над которыми работали все группы. Откройте флакон с духами в помещении. Сколько времени потребуется, чтобы их аромат достиг носа человека, который стоит на расстоянии в два, два с половиной, три метра от него? Имеет ли значение температура воздуха? Его плотность? Масса молекул, разносивших аромат? Форма комнаты? Обычная теория молекулярной диффузии позволяла ответить на большинство из этих вопросов. Для этого надо было просто воспользоваться стандартным дифференциальным уравнением (но не на последний вопрос, где необходимость учитывать геометрию стен приводила к его усложнению). Продвижение молекул зависит от

того, как часто и в какой последовательности они будут сталкиваться на своем пути с другими молекулами. Их движение будет происходить рывками, а траектория каждой молекулы будет складываться из суммы траекторий разной длины, по которым молекула могла двигаться в любом направлении. Аналогичная проблема возникала в той или иной форме и в случае, когда надо было учесть, как распространяется тепло в металле. Таким образом, главный вопрос Лос-Аламоса также был связан с диффузией, только в новом обличье. Расчеты критической массы быстро переросли в не что иное, как расчеты диффузии — диффузии нейтронов в странном радиоактивном минном поле, где их столкновения приводили к последствиям более зн*а*чимым, чем мгновенные изменения направления движения, как у бильярдных шаров. Нейтрон может быть поглощен, что может привести к расщеплению атома и появлению новых нейтронов. По определению, когда достигается критическая масса вещества, то появление новых нейтронов должно компенсировать их потерю в результате поглощения или утечки за пределы контейнера. Это уже была не арифметическая задача. Тут требовалось понимание принципа распространения нейтронов на макроскопическом уровне исходя из их микроскопических (индивидуальных) свободных перемещений.

Математическое описание процесса, происходящего в сферической бомбе, напомнило о еще одной странной и красивой задаче диффузии — о проблеме затемнения солнечного диска. Почему у Солнца резко очерченные края? Не потому, что его поверхность твердая или покрыта жидкостью. Как раз наоборот, газообразный поверхностный слой Солнца постепенно становится более разреженным, и четкой границы между Солнцем и пространством вокруг него не существует. Тем не менее мы видим эту границу. Энергия распространяется наружу от нестабильного солнечного ядра в направлении к поверхности, частицы рассеиваются по разным траекториям, пока, наконец, горячий газ не истощается и вероятность столкновений не исчезает. Различимый контур, который мы видим, скорее является следствием визуального искажения излучаемого света, нежели его физическим свойством. На языке статистической механики это означает, что средняя длина свободного пробега — среднее расстояние, которое проходит частица между столкновениями, — становится сравнимой с радиусом Солнца. И тогда фотоны начинают вести себя, словно прекратившие играть в пинбол и получившие свободу шарики, которые теперь могут лететь по прямой, пока не рассеются в атмосфере Земли или не попадут на чувствительную сетчатку человеческого глаза.

Разница в яркости между центром солнечного диска и его краем позволяла косвенно оценить характер внутренней диффузии. Или, по крайней мере, должна была позволить, если бы не сложности, связанные с механическим поведением частиц. Однако Норберт Винер, талантливый математик из МТИ, предложил способ решения этой задачи.

Если вместо Солнца мы представим шар из радиоактивного металла диаметром в несколько сантиметров с мечущимися внутри него нейтронами, мы столкнемся с миниатюрной версией той же задачи. Какое-то время этот подход работал, но только до определенного момента. Слишком много допущений приходилось делать. В настоящей бомбе, собранной в основном из очищенного урана, окруженной оболочкой из отражающего нейтроны металла, реальные нежелательные процессы проверят адекватность самых продвинутых математических методов. Энергии нейтронов, сталкивающихся друг с другом, будут изменяться в широком диапазоне, да и вероятность их рассеивания в разных направлениях может различаться. Бомба может не иметь идеальную сферическую поверхность. Различие между реальностью и традиционными упрощениями стала очевидна, когда перед группой Фейнмана была поставлена первая серьезная задача. Бете попросил оценить предложение Теллера заменить чистый металлический уран его гидридом, соединением урана и водорода. На первый взгляд, гидрид урана имел свои преимущества. С одной стороны, замедляющий нейтроны водород будет «встроен» в материал бомбы, и, следовательно, потребовалось бы меньшее количество урана. Но, с другой стороны, полученное вещество было пирофорным, то есть могло самовоспламеняться. Когда металлурги Лос-Аламоса приступили к получению экспериментальных образцов гидрида урана, им приходилось по несколько раз в неделю гасить небольшие «урановые» пожары. Однако идея с гидридом оказалась весьма полезной. Она показала теоретикам ограничения в их методах расчета критической массы. Чтобы здраво оценить идею Теллера, нужно было изобрести новый способ расчета. Прежде чем рассматривать вопрос об использовании гидрида урана, они воспользовались методом, основанном на аппроксимации (приближении) метода Ферми, предположив, что нейтроны, помимо всего прочего, будут двигаться с одной определенной скоростью. В чистых металлах или при медленных реакциях в бойлере с водой это предположение, казалось, должно было сработать. Но в своеобразной структуре молекулы гидрида, в которой огромные атомы урана связаны с двумя или тремя крошечными атомами водорода, нейтроны могли двигаться с

любой скоростью, от очень медленной до невероятно большой. Никому еще не удавалось найти способ вычисления критической массы, когда скорости нейтронов могут настолько сильно различаться. Фейнман решил проблему, воспользовавшись парой приближений, которые сформировали диапазон возможных значений. Его способ позволял оценить допустимые границы: одно получившееся значение было максимально допустимым, другое — минимальным. Реальный опыт вычислений показывал, что этого должно было быть достаточно. Рассчитанные значения были так близки друг к другу, что ответ получался достаточно точным. Пытаясь объяснить членам своей группы, как он по-новому понимает смысл критического состояния (по их мнению, втихаря вторгаясь в чужие владения, так как этим направлением занималась группа Т-2 под руководством Сербера), Фейнман выдал серию новых идей, которые озадачили даже Велтона, а уж он-то лучше всех понимал Ричарда. Он заявил, что проблема будет решена, если они смогут составить таблицу так называемых собственных значений энергии для упрощенной модели, которую использовала группа Т-2. Казалось, что это невозможно, и члены его группы так ему и заявили, однако вскоре убедились, что Ричард снова был прав. Для схемы Теллера новая модель не подходила. Идея с гидридом вела в тупик. Для получения цепной реакции, как оказалось, эффективнее было использовать чистый уран и плутоний.

Таким образом, собравшиеся в Лос-Аламосе ученые подвергли теорию диффузии своего рода проверке, опираясь всего лишь на несколько прецедентов в анналах науки. Элегантные формулировки из учебников были изучены, пересмотрены, усовершенствованы, а затем полностью отвергнуты. Их место заняли практичные методы и хитроумные ухищрения. В учебниках можно было найти точные решения, по крайней мере, для частных случаев, но в условиях Лос-Аламоса от частных случаев не было никакой пользы. Главное, чему надо было научиться Фейнману, — примиряться с неопределенностью. Некоторые ученые на первых страницах своих статей признавали, что им многое неизвестно: «К сожалению, нельзя ожидать большой точности», «К сожалению, цифры, приведенные в этой работе, не могут рассматриваться как достоверные», «Данные методы неточны». Каждому ученому-практику приходится учиться учитывать в расчетах диапазон погрешностей, они очень хорошо усвоили, что если им надо рассчитать, сколько километров в трех морских милях, то 3, умноженное на 1,852 (количество километров в миле) будет равно пяти с половиной километрам, а не 5,556. Стремление к точным значениям величин только

отвлекало, как энергия в двигателе, подчиняющаяся второму закону термодинамики. Фейнман часто не просто принимал процесс аппроксимации, он манипулировал им как инструментом, используемым при создании теорем. Он всегда подчеркивал легкость его использования: «Интересная теорема оказалась необыкновенно полезной при вычислении приблизительных выражений <…> во многих случаях это позволяет сделать более простой вывод… и во всех случаях, представляющих для нас интерес, получаемая точность вполне приемлема… метод невероятно прост при вычислениях и, примененный однажды, упрощает подход к решению широкого спектра проблем, связанных с нейтронами». Выводимые ими теоремы трудно было назвать математически красивыми объектами, никогда еще они не выглядели так непривлекательно, как в Лос-Аламосе. В то же время теоремы как инструменты, используемые для решения поставленных задач, никогда еще не ценились так высоко. Снова и снова теоретикам приходилось выводить уравнения, не надеясь, что можно будет найти точное решение, уравнения, которые приговаривали их к долгим часам кропотливых вычислений с весьма приблизительными результатами. Когда они были получены, теоретическое описание диффузии превратилось в своеобразную «смесь всего и вся». Знания были описаны не в одном месте, но при этом они никогда не были настолько практичны.

Для Фейнмана, обдумывающего в свободное время теорию частиц и света, диффузия очень своеобразно сочеталась с квантовой механикой. Традиционное уравнение диффузии имело семейное сходство[109] со стандартным уравнением Шрёдингера. Основное отличие заключалось в единственной экспоненте, которая в квантово-механической версии имела мнимую единицу — *i*. Не будь этой мнимой единицы *i,* диффузия осуществлялась бы движением без инерции, движением без импульса. Каждая молекула духов инерцией обладала, но аромат, который они создавали все вместе, их совокупные столкновения с молекулами воздуха, инерцией не обладал. Наличие мнимой единицы *i* давало возможность квантовой механике учитывать инерцию как память частиц об их прошлой скорости. Мнимая единица в экспоненте позволяла свести вместе скорость и время должным образом. В некотором смысле квантовая механика была диффузией в мнимом времени.

Трудности в решении практических задач, связанных с диффузионными процессами, привели к тому, что теоретики из Лос-Аламоса стали использовать нетрадиционный способ. Вместо того чтобы решать аккуратные дифференциальные

уравнения, им пришлось разбить физическую задачу на несколько этапов, находя на каждом из них численные значения для небольших приращений времени. Фокус внимания сместился на микроскопический уровень, на движение отдельных нейтронов по их собственным траекториям. Квантовая механика Фейнмана развивалась на удивление похожим образом. Разработка его собственных теоретических представлений, как и развитие теории диффузии, привели к тому, что пришлось отказаться от использования слишком упрощенного и слишком общего дифференциального подхода и сделать акцент на пошаговом вычислении и суммировании траекторий и вероятностей.

Вычисления в уме

Проходя по наспех построенным деревянным строениям, где в 1943 и 1944 годах оживала душа проекта атомной бомбы, можно было увидеть не один десяток людей, корпящих над расчетами. Все что-то считали. В команду теоретиков входили признанные во всем мире мастера считать в уме, что стало к тому время своеобразным видом боевого искусства, развивающегося по пути джиу-джитсу. По утрам Бете, Ферми и Джон фон Нейман всегда собирались вместе и, вычисляя давление волн, словно в перестрелке, метали друг в друга числа. Заместитель Бете, Виктор Вайскопф, был известен своими пророческими предположениями. Его кабинет даже в шутку прозвали пещерой горячих ветров. В случае необходимости он мог выдать невероятно точное значение поперечного сечения (условное обозначение определенных вероятностей столкновения частиц в различных веществах при различных условиях). Ученые вычисляли все — от формы ударной волны до крепости коктейлей Оппенгеймера. Сначала приблизительно, интуитивно, а потом, если того требовала ситуация, с максимальной точностью, на что могли уйти недели. Они делали приблизительные вычисления, основываясь только на своем опыте, как повар, который для того чтобы получить треть чашки вина, может налить полстакана, а затем часть выплеснуть. Все, кому приходилось вычислять логарифмы в уме, мысленно делали интерполяцию, то есть искали промежуточные значения между данными, приведенными в стандартной таблице. Этот способ вычисления стал забываться тридцать лет спустя, когда появились дешевые электронные калькуляторы, которые невероятно ускорили процесс. Но тогда математики считали в уме, интуитивно прикидывая, как будет выглядеть рассчитываемая кривая. У Фейнмана в голове был целый набор таких готовых кривых, причем предварительно откалиброванных. Его коллеги по Лос-Аламосу иногда забавлялись, слушая, как он, размышляя, издавал звук, похожий на ухающее глиссандо. Это означало *экспоненциальный рост*. Другой звук означал *линейный рост*. Возглавив группу, занимающуюся сложными расчетами, он часто подходил к кому-нибудь, заглядывал через плечо и тыкал пальцем в каждую ошибку, приговаривая: «Это неверно». Его сотрудники в недоумении спрашивали, почему он заставляет их производить все эти расчеты, если сам заранее знает ответы. В ответ Фейнман объяснял им, что может увидеть, верен ли полученный результат или нет, даже если не имеет ни малейшего

представления о том, каким должен быть правильный ответ, просто он чувствовал гармоничность чисел и соотношений между ними. Однако на самом деле подсознательная оценка не была его стилем работы. Ему нравилось знать, что и как он делает. Он выискивал в своем ментальном наборе инструментов тот, который как хитроумная отмычка поможет ему открыть сложный интеграл. Или использовал различные упрощенные допущения, например: *допустим, мы рассматриваем некоторую величину как бесконечно малую*. Он позволял прокрасться ошибке, а затем тщательно оценивал ее.

Коллегам казалось, что некоторые его вычисления были лишь чем-то вроде способа создать себе определенную репутацию. Однажды Фейнман, который говорил, что ношение часов — это своего рода манерность, получил в подарок от отца карманные часы. Он носил их с гордостью, и друзья стали подшучивать над ним. Они спрашивали время при каждом удобном случае, пока Ричард не начал отвечать, едва взглянув на циферблат: «Четыре часа двадцать минут назад было без двенадцати полдень» или «Через три часа сорок девять минут будет семнадцать минут третьего». Некоторые попались на это. Никаких подсчетов Фейнман на самом деле не совершал. Это был просто трюк, построенный на калибровке. Каждое утро Ричард переводил свои часы на определенное время: один день — на три часа сорок девять минут вперед, другой — на четыре часа двадцать минут назад. Таким образом, ему нужно было запомнить всего одну цифру, а другую он видел на циферблате. Это был тот же Фейнман, который много лет спустя будет пытаться объяснить непрофессионалу сложные сдвиги во времени и ориентации, от которых зависит теоретическая физика. Он скажет тогда: «Знаете, как это работает при переходе на летнее время? Так вот, в физике множество таких переходов».

Когда приходилось делать вычисления, Бете и Фейнман с особым удовольствием соревновались друг с другом. Зрители часто были удивлены. И не потому, что всегда выделявшийся Фейнман побеждал своего старшего соперника, а как раз наоборот: чаще всего медленно говорящий Бете обыгрывал Фейнмана. Еще в самом начале их совместной деятельности над проектом они вместе работали над одной формулой, для которой необходимо было рассчитать квадрат сорока восьми. Фейнман потянулся за калькулятором Маршана.

— Две тысячи триста, — сказал Бете.

Фейнман принялся тыкать кнопки.

— Хочешь более точно? — продолжил Бете. — Две тысячи триста четыре. Ты что, не умеешь брать квадрат чисел в районе

пятидесяти?

Он объяснил суть уловки. Квадрат пятидесяти равен 2500 (тут не надо думать). Для чисел чуть больше или меньше пятидесяти приблизительное значение квадрата будет чуть больше или меньше 2500. 48 на 2 меньше, чем 50, то 48^2 будет на 200 меньше, чем 2500, то есть 2300. Для получения более точного ответа нужно взять опять эту разницу в 2, возвести ее в квадрат и прибавить к имеющемуся числу. Таким образом, получается 2304.

Фейнман освоил принцип и более сложных вычислений. Но Бете поразил его совершенным владением устным счетом, он продемонстрировал множество простых приемов, способных охватить весь спектр расчета небольших чисел. Знания, лежащие в основе его методов, переплетались между собой причудливым образом. Бете, как и Фейнман, инстинктивно знал, что разница между квадратами двух следующих друг за другом чисел — всегда нечетное число, равное сумме этих чисел. Этот факт и то, что 50 — половина от 100, позволяли провернуть трюк с квадратами чисел в районе пятидесяти. Несколько минут спустя им потребовалось извлечь кубический корень из 2S. Математические калькуляторы не могли выполнять подобные действия, для этого существовали специальные таблицы. Фейнман едва успел открыть ящик стола и взять их, когда услышал голос Бете: «Это 1,35». Как алкоголик, у которого бутылки припрятаны повсюду на расстоянии вытянутой руки, Бете хранил приемы, позволяющие оперировать числами. Он знал таблицы логарифмов и мог безошибочно вычислять промежуточные значения. Фейнман производил расчеты иным способом. Он знал, как вычислять последовательности и выводить тригонометрические функции, и умел отчетливо представить связь между ними.

Он освоил ментальные трюки, которые относились к области более глубокой — алгебраическому анализу. Он любил дифференцировать и интегрировать уравнения, которые, словно драконы, таились на последних страницах учебников. Его умение постоянно подвергалось проверке. Теоретическое подразделение порой напоминало справочную слегка необычной библиотеки. Звонил телефон, и кто-то спрашивал:

— Какова сумма ряда $1 + (S)^4 + (1/3)^4 + (1/4)^4 + \ldots$?

— Насколько точное значение вам нужно? — отвечал Фейнман.

— С точностью в 1 % устроит.

— Хорошо, — говорил Ричард. — 1,08.

Он просто посчитал в уме сумму четырех первых значений

последовательности. Для сотых долей десятичной дроби этого было достаточно.

Теперь голос спрашивал точное число.

— Вам не нужно точное число, — говорил Фейнман.

— Да, но я знаю, что это возможно.

— Ладно, — отвечал он, — это π до четвертой цифры после девяноста.

И он, и Бете видели в своих талантах способ сократить время на расчеты. А когда дело касалось их обоих, между ними происходило нечто вроде рыцарского турнира. Как-то за обедом, пребывая в более приподнятом настроении, чем обычно, Фейнман вызвал на поединок соседний стол. Он утверждал, что сможет решить любую задачу за шестьдесят секунд с погрешностью десять процентов, если она будет сформулирована за десять секунд. Десять процентов — достаточно большой интервал, и придумать подходящую задачу было непросто. Вопреки желанию, друзьям никак не удавалось выбить Ричарда из колеи. Самое сложное из того, что удалось кому-то из них придумать, — это определить десятый биноминальный коэффициент в ряду $(1 + x)^{20}$. Фейнман нашел решение за секунду до того, как время истекло. И тогда заговорил Пол Олум. Он уже состязался с Ричардом раньше и был готов сделать это еще раз. Он попросил вычислить тангенс десяти с точностью до сотых. Соревнование было окончено. Фейнману пришлось бы делить единицу на π и отбросить первые сто значений после запятой. Для этого нужно было знать сотую цифру после запятой в числе π. Даже Фейнману сделать такое за короткий срок было не под силу.

Он брал интегралы. Он решал уравнения, переводя бесконечное суммирование в более сложные области. Некоторые из этих дерзких, не входящих в учебник нелинейных уравнений можно было решить в уме, просто используя правильную комбинацию ментальных приемов. Другие решению не поддавались. Можно было подставлять числа, производить расчеты, вычислять, потом снова рассчитывать, экстраполировать. Можно было визуализировать многочлен, чтобы приблизительно вывести желаемую кривую, а потом пытаться понять, как учесть ошибку. Однажды, совершая обход, Фейнман увидел, как один из сотрудников мучается с особенно сложным нелинейным уравнением порядка 3,5: необходимо было трижды взять интеграл, а потом вычислить половину производной. В конце концов, Ричард предложил более простой, числовой метод вычисления трех интегралов одновременно и половины интеграла отдельно, который позволял получать даже более точное значение, чем предполагалось раньше. Подобным образом,

работая с Бете, он нашел новый общий способ решения дифференциальных уравнений третьего порядка. Решение уравнений второго порядка было доступно уже несколько веков. Открытие Фейнмана было точным и полезным. Но оно было обречено на недолгую жизнь в век машинных вычислений, так же, как и ментальная арифметика, сыгравшая не последнюю роль в превращении Фейнмана в легенду.

Вычисления с использованием машин

В те годы зарождалась не только атомная, но и компьютерная эра. Ряд ученых, разбросанных по военным и гражданским лабораториям по всей стране, занимался исключительно разработкой средств вычисления, а не самими вычислениями. В Лос-Аламосе необходимость в проведении численных расчетов стояла острее, чем где бы то ни было в мире. Вычислительные средства были в основном механическими и лишь в последнее время стали появляться электронные. Но их основной технологический элемент — транзистор — будет изобретен только в конце десятилетия. В процессе вычисления одновременно принимали участие и машины, и люди: операторы, перекладывающие перфокарты, выполняли роль памяти и логически разветвленных блоков, растянутых вдоль рядов и колонн из столов.

При работе над проектом создания бомбы ученым могли предоставить лучшую доступную вычислительную технику, только вот лучшая вычислительная техника не могла удовлетворить запросы ученых. Производители подобного оборудования — среди них уже тогда выделялась International Business Machines Corporation (корпорация IBM) — не считали, что дальнейшее развитие науки обеспечит им перспективный рынок. Специалисты корпорации не могли даже представить ту широкую клиентскую базу, которой вскоре потребуются огромные вычислительные мощности для того, чтобы составлять прогнозы погоды, моделировать работу двигателей, анализировать строение белков, составлять расписания полетов самолетов и имитировать модели всего что угодно — от экосистемы до сердечных клапанов. Тогда же, в основном, вычислительные машины использовались в бизнесе, точнее, с их помощью вели бухгалтерский учет. А основные операции, которые приходилось выполнять в этом случае, — сложение и вычитание. Требовать, чтобы машины выполняли такое действие, как умножение, казалось излишним, тем не менее порой бывало необходимо умножить величину ежемесячных продаж на двенадцать. О делении вообще речи не шло. Рассчитывать выплаты по закладным или проценты по облигациям можно было и вручную с помощью стандартных таблиц.

Роль рабочей лошадки в научных расчетах исполнял калькулятор Маршана, клацающий аппарат размером с печатную машинку, способный складывать, вычитать, умножать и с некоторыми трудностями делить числа вплоть до десятизначных.

Сначала, чтобы сэкономить деньги, для проекта заказали более медленные, восьмизначные версии, но их редко использовали. В калькуляторе Маршана каретка двигалась вперед сначала с помощью ручки, а потом включался электромотор. Клавиши и рычажки толкали каретку вправо и влево. Отображаемые на циферблате счетчика и регистра цифры были цветными. Кнопки для ввода располагались рядами и колонками на панелях положительных и отрицательных цифр. Была клавиша умножения и умножения на отрицательное число, клавиша переключения регистра и кнопка для остановки машины в случае, если процесс деления выходил из-под контроля, что случалось довольно часто. Механическая арифметика была делом непростым. Со всеми этими кнопками и элементами калькулятор Маршана сильно уступал по мощности гигантским машинам — разностной и аналитической, — изобретенным столетие назад в Англии Чарльзом Бэббиджем, который надеялся создать печатные таблицы в помощь штурманам, астрономам и математикам. Бэббидж не только решил проблему переноса цифр из одного десятичного разряда в другой. Для передачи данных в его машине фактически использовались перфокарты, используемые в ткацких станках. Однако в век паровых двигателей немногие его современники оценили это изобретение.

Калькуляторы Маршана в Лос-Аламосе работали на пределе возможностей. Металлические детали изнашивались и выходили из строя. Официально несуществующая лаборатория не могла, как это обычно происходило, вызвать специалиста, чтобы отремонтировать сломанный прибор, поэтому их приходилось отправлять на завод-изготовитель в Калифорнию. Три или четыре калькулятора постоянно находились где-то в пути. Расстроенный, Фейнман обратился к Николасу Метрополису, усатому математику из Греции, который позднее станет известным специалистом в области вычислений и числовых методов. «Давай-ка разберемся в этих проклятых штуковинах, — сказал Ричард, — и не будем отсылать их в Бербанк». (Фейнман в тот период тоже отрастил усы.) Они потратили не один час, разбирая старые и новые калькуляторы, чтобы сравнить их и установить причины сбоев и поломок, а затем вывесили короткое объявление: «Ремонт калькуляторов». Но Бете не понравилось, что теоретики из его команды впустую потратили свое время, и, в конце концов, он запретил копаться в аппаратах. Фейнман подчинился, зная, что через несколько недель нехватка калькуляторов заставит Бете изменить свое мнение.

Пик вычислительных процессов пришелся на осень 1943 года, когда были заказаны счетные машины, которые корпорация *IBM*

должна была доставить по неизвестному адресу. Были закуплены три множительных устройства модели 601, один табулятор-402, один воспроизводящий итоговый перфоратор, одно контрольно-измерительное устройство, один клавишный перфоратор и одна сортировально-подборочная машина. Астрономы в Колумбийском университете проводили эксперименты с использованием перфокарт еще до войны. На множительных устройствах размером с ресторанную плиту можно было проводить достаточно объемные расчеты. Электрические датчики находили отверстия в перфокартах, и можно было управлять конфигурацией посредством закрепления маленьких стержней в коммутационной панели. Среди специалистов, выполнявших вычисления, появление этих машин в Лос-Аламосе вызвало большой ажиотаж. Еще до их прибытия один из теоретиков Стенли Франкел предпринял попытки их усовершенствовать. Он утроил скорость вычислений, переставляя затворы таким образом, чтобы три группы трех- или четырехзначных чисел можно было умножать за один проход. Предъявляя заявку на машины, ученые обратились и с официальным письменным требованием предоставить специалиста для их обслуживания — сотрудника IBM, недавно призванного в армию. Искусство военных закупок совершенствовалось на глазах. Ящики с оборудованием прибыли на два дня раньше, чем человек, который должен был его собрать. За это время Фейнман с коллегами умудрились всё распаковать и собрать, не переставая восхищаться приборами и используя всего лишь скрепленную проволокой инструкцию. Машины были настолько мощными, что Ричард, как всегда улавливающий ритмичность, быстро сообразил, как запрограммировать их, чтобы они шумели в такт известным песням. Теперь теоретики начали создавать нечто новое в области вычислений — гибрид вычислительной машины и заводского конвейера. Еще до получения вычислительной техники от *IBM* Фейнман и Метрополис задействовали группу людей (в основном это были жены ученых, работавшие за три восьмых зарплаты), каждый из которых выполнял определенное действие сложных уравнений. Кто-то возводил число в куб и передавал карту с результатом следующему, который выполнял деление, и так далее. Это было соединение массового производства и числовых расчетов. Женщины, проводящие вычисления на калькуляторах Маршана, имитировали полный цикл работы компьютера. Как обнаружат будущие поколения, в самом процессе разделения расчетов на простые арифметические операции, необходимом для машин, присутствовала какая-то непостижимая привлекательность, которая словно возвращала ум

к основам арифметики. Этот процесс позволил приблизиться к пониманию того, какие именно виды уравнения *решаемы*. Стопки перфокарт могли дать решение уравнения для огненного шара, внезапно расширяющегося в турбулентной атмосфере, рассчитывая последовательно его приблизительные значения для разных моментов времени: 0:01, 0:02, 0:03 и т. д., в то время как с точки зрения традиционного анализа эти строго нелинейные уравнения считались нерешаемыми.

Из всех задач, которые предстояло решать с использованием имеющихся вычислительных аппаратов Лос-Аламоса, расчет движения внутренней ударной волны — имплозии — более всего напоминал процесс научного моделирования. Взрывной заряд, внутри которого находится бомба, должен был привести к образованию ударной волны, а ее давление — привести кусочек плутония в критическое состояние. Какой должна быть конструкция бомбы, чтобы обеспечить стабильную детонацию? Какой именно огненный шар образуется? Чтобы ответить на подобные вопросы, необходимо было составить уравнение, описывающее распространение сферической детонационной волны в сжимающейся жидкости, причем в качестве «сжимающейся жидкости» в данном случае выступал плутоний, расплавившийся за микросекунды до того, как стать ядерным зарядом. Давление при таких условиях будет выше, чем в центре Земли, температура достигнет 50 000 000 °C. Здесь теоретики могли полагаться только на себя. Экспериментаторы не могли предложить ничего, кроме разве что «наилучших пожеланий». На протяжении 1944 года вычислительные мощности росли. Джона фон Неймана приглашали в качестве консультанта, и он надеялся после окончания войны продолжить это дело. Математик, логик, разработчик теории игр и один из отцов современных компьютерных систем (он все больше включался в эту невероятную покерную партию в Лос-Аламосе), фон Нейман любил поговорить с Фейнманом, пока они работали на машинах IBM или гуляли по каньону. Особенно запомнились Ричарду его слова о том, что ученому вовсе не обязательно нести ответственность за весь мир, и отсутствие социальной ответственности может быть вполне разумным выбором. Также запало в память Фейнману тогда еще смутное, только зарождающееся понятие о математическом феномене, который позднее будет назван хаосом, — устойчивом, повторяющемся нарушении порядка в определенных уравнениях при подготовке их к компьютерным вычислениям. Взрывная волна, например, проходя сквозь вещество, оставляла волновой след. Сначала Фейнман полагал, что нарушения колебаний были числовыми

ошибками. Фон Нейман объяснил, что эти колебания как раз и были искомыми величинами.

Фон Нейман держал новоиспеченных специалистов по вычислительной технике в курсе последних событий. Он много где бывал и отовсюду привозил новости. Он сообщил об электромеханическом приборе *Mark I*, который собирали в Гарварде; о релейном вычислительном устройстве, разработанном в лаборатории Белла; об изучении нейронов человека, проводимом в Университете Иллинойса; а также о том, что на Абердинском испытательном полигоне для решения проблемы расчета траекторий в баллистике создали более совершенное устройство, названное *ENIAC — Electronic Numerical Integrator and Computer* (Электронный числовой интегратор и компьютер), состоящее из восемнадцати тысяч электронных ламп. Эти лампы контролировали двоичные триггеры (переключатели), которые, в дань прошлому, располагали в виде колец по десять триггеров как механические колеса в десятичных вычислительных машинах. В этом устройстве было слишком много ламп. Фон Нейман заключил: «При каждом включении две из них перегорали». Солдаты вынуждены были носить запасные лампы в продуктовых корзинах. Термин из теории диффузии — средняя длина свободного пробега — операторы перенесли на вычислительные устройства, введя такое понятие, как среднее время между поломками.

Тем временем под влиянием того, что приходилось разбивать сложные вычисления на простые математические операции, Фейнман на достаточно продолжительное время отстранился от практичных инженерных разработок и подготовил лекцию на тему «Некоторые интересные свойства чисел». Это было превосходное упражнение в арифметике, логике и — хотя это слово Ричард никогда бы не произнес — философии. Солидная аудитория собралась («Величайшие умы», — как писал Фейнман своей матери несколько дней спустя), чтобы отбросить в сторону все имеющиеся знания по математике и начать с определения основных принципов, то есть с детских представлений о способе подсчета в единицах. Ричард определил сложение $a + b$ как операцию отсчета b единиц от отправной точки a. Он дал точное определение умножению (подсчет b раз), возведению в степень (умножение b раз). Он вывел простые законы, такие как $a + b = b + a$ (коммутативный) и $(a + b) + c = a + (b + c)$ (ассоциативный). Эти законы обычно принимались подсознательно, хотя квантовая механика показала, насколько сильно некоторые математические операции зависели от порядка, в котором они записаны[110]. Не принимая ничего как должное,

Фейнман показал, как чистая логика заставляет задуматься о том, что собой представляют обратные действия: вычитание, деление, взятие логарифмов. Он задавал новые вопросы, которые влекли за собой новые арифметические открытия. Все это позволило ему значительно расширить представление о том, что понимать под буквами *a, b* и *c*, и о правилах, которые позволяли совершать с ними различные действия. Из его исходного определения следовало, что под отрицательными числами вообще ничего не подразумевалось. Возникало впечатление, что дроби, дробные показатели, экспоненты, мнимые корни из отрицательных чисел не имеют непосредственного отношения к счету, но Фейнман продолжал снова и снова извлекать их, используя чисто логические инструменты. Он обращался к иррациональным и комплексным числам, числам в степени с комплексными показателями и комплексным числам в степени с комплексными показателями. Все это вытекало само собой, пока не возникал вопрос: чему равно *i*, если *i* в квадрате равно –1? Ричард напомнил своим слушателям, как брать логарифмы, и показал, как сходились числа при последовательном вычислении квадратных корней и как в результате неизбежно образуется *e* — основание натурального логарифма, эта фундаментальная константа. Он переосмыслил многовековую историю математики. Точнее, не то чтобы переосмыслил, потому что только взгляд с точки зрения современной науки позволял увидеть картину целиком. Показав суть степеней с комплексными показателями, Фейнман начинал их вычислять, а потом составил из полученных значений собственную таблицу. В ней числа изменялись, уменьшаясь от единицы до нуля, до отрицательных значений и затем увеличивались, формируя волнообразную кривую. Фейнман нарисовал эту кривую, хотя, конечно, все присутствующие прекрасно знали, что представляет собой синусоида. Так он пришел к тригонометрическим функциям. И теперь сформулировал еще один вопрос, столь же фундаментальный, как предыдущие, но в то же время охватывающий все остальные, словно сеть, которую Ричард плел на протяжении почти целого часа. Каким должно быть значение *e*, чтобы достичь *i*? Присутствующим было известно, что *e, i* и π связаны, словно невидимая мембрана, но Ричард (как рассказывал своей матери) «говорил чертовски быстро, не давая им времени подумать, и пока они не успевали ухватиться за один факт, уже выкладывал перед ними другой, еще более невероятный». Теперь он повторял утверждение, записанное им еще в четырнадцать лет, о том, что странная смешанная формула $e^{\pi i} + 1 = 0$ была самой замечательной в математике. Несмотря на то что алгебра и

геометрия говорили на разных языках, они были по сути одним и тем же — немного по-детски арифметически упрощенной и обобщенной чистейшей логикой. «Так что, — писал Ричард, — мои маленькие достижения в арифметике произвели неизгладимое впечатление на все эти великие умы».

На самом деле, если Фейнман, как полагал его друг Велтон, и старался сознательно утвердиться среди этих знаменитых физиков, он преуспел даже больше, чем полагал сам. В ноябре 1943 года, через семь месяцев после старта проекта в Лос-Аламосе, Оппенгеймер начал убеждать руководство кафедры в Беркли пригласить Фейнмана на работу после окончания войны. Он написал Бирджу, заведующему кафедрой в тот период:

«Несомненно, он здесь самый талантливый молодой физик, и это все знают. Он невероятно обаятельный человек, предельно открытый, совершенно адекватный во всех отношениях и, к тому же, замечательный учитель, испытывающий по отношению к физике чрезвычайно теплое чувство».

Оппенгеймер предупреждал, что у Фейнмана обязательно будут и другие предложения работы, потому что немалое количество «больших шишек» уже обратило на него внимание. Он упомянул лишь о двух. Бете, как полагал Оппенгеймер, прямо заявлял, что готов был скорее расстаться с любыми двумя учеными из команды, чем с Фейнманом. Вигнер из Принстона сказал, пожалуй, то, что в среде физиков было абсолютным признанием, а именно: «Это второй Дирак. Только на этот раз человек».

За забором

В честь годовщины свадьбы Фейнман и Арлин жарили стейки на походном угольном гриле, который Арлин заказала по каталогу. Они расположились на открытом воздухе на территории пресвитерианского санатория. Арлин принесла поварской колпак, фартук и рукавицы и уговорила Ричарда надеть все это. Мечтавшая о семейной жизни и любившая домашний уют, Арлин получала огромное удовольствие от всего происходящего. Ричард же чувствовал себя неловко. Он стеснялся как поварских атрибутов, так и своих новых усов. Ему было неприятно чувствовать взгляды проезжающих мимо людей. Арлин же смеялась и, как обычно, спрашивала, какое ему дело до того, что подумают другие. Стейк был дорогим удовольствием: восемьдесят семь центов за килограмм. Они ели его с дыней, сливами и картофельными чипсами. Газон санатория простирался прямо до шоссе 66, идущего через всю страну, и там, вдали, гудели машины. Альбукерке изнемогал от жары, но они были счастливы. Арлин позвонила родителям. Семиминутный междугородный телефонный разговор — еще одно проявление сумасбродства и расточительства. Ближе к вечеру, после того как Ричард уехал на попутке обратно на север, пустыню накрыла гроза, и Арлин беспокоилась о том, что ему пришлось добираться к себе под таким ливнем. Она все еще не могла привыкнуть к сильным бурям, обычным для Запада.

Практически каждую неделю Фейнман пересекал долину, лежащую между горами Джемез и Сангре де Кристо. Эти поездки выделяли его среди остальных обитателей плато. Немногим жителям этого довольно закрытого сообщества представлялась возможность покидать территорию. Однажды во время довольно странного разговора о том, кто мог бы оказаться нацистским шпионом, Клаус Фукс, немец, получивший британское гражданство, предположил, что на эту роль идеально подошел бы Дик Фейнман. Кто еще, кроме него, принимал участие в таком большом количестве работ разных лабораторий? Кто еще регулярно выезжал на какие-то встречи в Альбукерке? Невероятно изолированный, с весьма специфическим населением, Лос-Аламос все больше и больше начинал напоминать пародию на настоящий город. Словно существующий лишь в воображении своих жителей, он официально не был ни деревней, расположившейся в тени гор Джемез, ни просто огороженной территорией с домами и грунтовыми дорогами, проложенными вдоль пруда, в котором даже водились утки. Это было что-то

абстрактное, абонентский ящик 1663, Санта-Фе, Нью-Мексико. Один из его резидентов как-то сказал, что именно такими он представлял американцев — «первопроходцами, основавшими вдали от внешнего мира новый город, вокруг которого простиралась пустыня, населенная индейцами». Мэром этого городка был избран Виктор Вайскопф. Фейнман стал членом городского совета. Забор, обозначавший границы города, усиливал своеобразную фантастическую атмосферу, свойственную ему, и не позволял внешнему миру проникнуть в местную жизнь. Здесь собралось высшее общество. Элитарное и многоязычное. В этом котле, так похожем на все лаборатории военного времени, на смеси языков было написано прощальное письмо протестантству, джентльменству и неторопливому сообществу американских ученых. В Лос-Аламосе действительно собралась научная аристократия. Это был «самый закрытый клуб в мире», как сказал о нем один бывший оксфордский аспирант. Но, несмотря на свою аристократичность, утонченный и деликатный Оппенгеймер сумел создать в нем истинно демократичную обстановку, где никакие чины и статусы не могли помешать научным беседам. Выборные советы и комиссии поддерживали этот образ. Аспиранты должны были оставить предрассудки и забыть, что общаются со знаменитыми профессорами. Здесь не было званий, как не было строгих костюмов и галстуков. Даже по вечерам в Лос-Аламосе царила демократия.

На шумных вечеринках кухни разных стран смешивались в коктейль четырех континентов, разбавленный эмоциональными спорами и политическими дебатами, вальсами и кадрилью. Тот же аспирант из Оксфорда все никак не мог взять в толк, что значила эта «кадриль», что определяло ее — количество танцующих, помещение или музыкальный ритм? Шведы пели баллады, англичане исполняли джаз на пианино, выходцы из Восточной Европы организовывали венские струнные трио. Фейнман играл на ударных в дуэте с Метрополисом и собирал всех в танцующий паровозик. Он оказался в такой невероятно разнообразной культурной среде, с какой ему никогда раньше не приходилось сталкиваться (уж конечно, МТИ не мог предложить ничего подобного своим будущим инженерам). На одной из вечеринок здесь даже поставили балет под названием «Святыня плато» на музыку Гершвина, в конце которого под механический стук и мерцание зрителям открывалась святая тайна этого места: $2 + 2 = 5$.

Лос-Аламос, огражденный стенами от внешнего мира, преуспевал. А Ричард и Арлин искали для себя личное убежище.

У них была своя тайная жизнь, которую они скрывали за собственным забором. Никто из приятелей Фейнмана не знал, что он звал жену Путси, а она его — Тренер, что она замечала, как крепнут его мышцы от бесконечных пеших прогулок, что болезнь предоставляла ей все меньше отсрочек. Арлин, как и отец Ричарда, писала ему зашифрованные письма, зная, как любит он разгадывать загадки. Эти письма привлекли внимание военного цензора из службы безопасности лаборатории. Офицер напомнил Фейнману правило 4(e): *«Кодирование, шифры и любые формы тайного письма запрещены. Кресты, Иксы и другие подобные символы совершенно недопустимы»*. Цензура в Лос-Аламосе была предельно деликатной. Нельзя было не учитывать, что приехавшие сюда ученые и аспиранты, ранее работавшие в университетах, все еще предпочитали верить, что они добровольно принимают участие в разработке государственного научно-исследовательского проекта в стране, где неприкосновенность личной переписки была нерушима. Поэтому цензоры действовали осторожно. Старались проверять письма в тот же день, когда они приходили. Разрешили переписку на французском, немецком, итальянском и испанском. Но они считали вправе, по крайней мере, узнать у Фейнмана ключ к шифрованным письмам. Он ответил, что никакого ключа у него нет. В конце концов сошлись на том, что Арлин будет прикладывать ключ к письмам, а офицеры — забирать его, прежде чем передать конверт Ричарду.

Все это неизбежно привело к тому, что Фейнман нарушил правило 8(1) — дивный саморегулирующий закон, согласно которому *цензуре подвергалось любое упоминание о цензуре.* Тем не менее он написал об этом Арлин, что вызвало едкие насмешки с ее стороны. Она стала посылать письма с вырезанными в них дырочками или чернильными пятнами на словах. «Мне трудно писать, такое чувство, что (чернильное пятно) буквально заглядывает через плечо». Ричард в ответ приводил вымышленные цифры, отмечая, что десятичное разложение дроби 1/243 имеет повторения: 004 115 226 337 448, чем приводил в замешательство официальных цензоров, которые должны были теперь убедиться, что последовательность символов не являлась шифром каких-нибудь технических сведений. Скрывая насмешку, Фейнман объяснял, что данная последовательность не что иное, как бессмысленная тавтология, не несущая никакой информационной составляющей, характерной для всех математических равенств. В одном из почтовых каталогов Арлин нашла набор для изготовления пазлов, и следующее письмо из Альбукерке, направленное по адресу абонентский ящик 1663,

пришло разрезанным на части. Из другого письма цензоры удалили показавшийся им подозрительным список покупок. Ричард и Арлин задумали даже обменяться посланием, якобы содержащим взрывчатку, которое начиналось бы словами: «Надеюсь, ты помнишь, что открывать этот конверт нужно очень аккуратно, так как я вложила внутрь порошок субсалицилата висмута[111]…» Их письма были для них спасательным кругом, и неудивительно, что даже под бдительным надзором посторонних глаз любящие друг друга молодые люди находили способы говорить о личном.

И цензура, и высокий забор постоянно напоминали всем, проживающим в Лос-Аламосе, об их особом статусе: за ними следили, их охраняли, они были изолированы от внешнего мира. Все понимали, что ни в одном другом почтовом отделении никто никогда не вскроет и не прочтет чужие письма. Забор был двояким символом. Исследования, выполняемые некоторыми учеными, были настолько важными, что лаборатории постоянно находились под охраной вооруженных солдат. Однако это обстоятельство вызывало даже определенную гордость. Фейнман предупреждал родителей, что им тоже следует соблюдать секретность. Он писал: «Не все капитаны (и даже майоры), находящиеся здесь, знают, что мы делаем». Позднее, после выхода романа «Уловка-22»[112] (Catch-22), вся эта военная атрибутика стала казаться излишне навязчивой и вызывать насмешки. Но тогда в Лос-Аламосе все было не так просто. И у мужчин, и у женщин сам факт существования такого ограждения вызывал двойственные чувства: они одновременно и испытывали раздражение, и относились к этому с пониманием. Фейнман исследовал забор почти по всей длине. Обнаруживая в нем отверстия и протоптанные дорожки, ведущие от них, он считал своим долгом сообщить об этом. Только вот охранники реагировали на его доклады слишком уж равнодушно. «Я рассказал ему и старшему офицеру, — писал он Арлин, — но, могу поспорить, они и пальцем не пошевелили». Ему и в голову не приходило, что эти лазейки были почти официально разрешены. Охранники мирились с ними с молчаливого согласия Оппенгеймера, чтобы местные жители могли посещать кинопоказы, которые устраивались в лабораториях за двенадцать центов.

Походы с целью исследования новых мест заводили Фейнмана в самые скрытые и недоступные для многих уголки. У него был неудержимый интерес буквально ко всему. Новый аппарат для кока-колы, например. Хитроумное устройство, в котором бутылки крепились при помощи стальных ободков

вокруг горлышек. Его поставили вместо старого, самого древнего автомата по продаже содовой, в котором необходимо было поднять крышку, взять бутылку и уже потом честно кинуть монетку в контейнер. Новая модель, по мнению Фейнмана, свидетельствовала о недоверии покупателям, так что Ричард принял технический вызов и научился ловко обходить механизм. Правильно ли это было? Моральную сторону он обсудил со своими друзьями. Примерно тогда же он перестал употреблять спиртное. Однажды он напился до такой степени, что был не в состоянии бить в свой барабан и шутить напропалую, он начал бегать по всей базе, распевать и бить посуду, пока не отключился и Клаус Фукс не доставил его домой. После этого Фейнман принял решение отказаться от алкоголя, а заодно и от табака, и размышлял, не было ли это некой условностью. Не стал ли он более «нравственным», потому что просто начал стареть? «Это плохо», — думал он.

За Ричардом закрепилась репутация человека, замечающего любые мелочи. Кто-то из сотрудников однажды оставил свои вещи в кладовой и попросил Фейнмана вскрыть дверной замок. Скрепки, отвертка, две минуты. Двое прибежали сверху, запыхавшись, и стали умолять Фейнмана вскрыть шкаф, в котором хранились важные для них документы о лыжном подъемнике. А вот замки с цифровым кодом все еще не поддавались ему. Ричарду, как руководителю группы, полагалось иметь металлический сейф для хранения важных документов, и ему никак не удавалось взломать его. Он периодически покручивал ручку замка и в конце концов заметил, что его интерес перерос в настоящую страсть. Почему? «Возможно, — сказал он Арлин, — потому что я слишком люблю загадки. А ведь каждый замок — это загадка. Его нужно открыть, не сломав. Но сейфовые замки с комбинацией цифр здорово меня озадачили. Ты тоже порой озадачиваешь, но твои загадки я в конце концов разгадываю».

В сейфовых замках соединились логика человеческая и логика механики. При их разработке надо было учитывать и удобство их дальнейшего использования, и размеры самого металлического изделия — головоломки, с которыми постоянно сталкивались те, кто разрабатывал атомную бомбу. Официально считалось, что вариантов комбинаций могло быть порядка миллиона: три числа от 0 до 99. Но, поэкспериментировав, Фейнман обнаружил, что из-за простого механического зазора замок имеет так называемый «допуск на ошибку» плюс или минус 2. Если правильная цифра в комбинации была, скажем, 23, то срабатывала и любая другая в интервале от 21 до 25. Таким

образом, когда он систематически подбирал комбинации цифр, ему нужно было бы пробовать лишь одну из пяти: 0, 5, 10, 15 и т. д. В данном случае, обдумывая эту проблему, Фейнман руководствовался интуицией практичного физика. То, что он обнаружил, позволяло сократить количество возможных комбинаций с миллиона примерно до восьми тысяч. За несколько часов их вполне реально было осилить.

В американской культуре существовало множество мифов и легенд о сейфах и взломщиках. Тем не менее со времен ковбоев сейфы стали значительно толще и сложнее. Они имели двойные стенки из стали, тройные засовы на стенках, ограничительные тумблеры. Теперь сейфы, в конце концов, прикручивались к полу. Но вместе с технологиями развивались и легенды, становясь более замысловатыми. Идеальный взломщик должен был обладать чувствительными пальцами и острым слухом. Главное его мастерство, как считалось, заключалось в том, чтобы улавливать вибрации тумблера, проскальзывающего или застревающего на определенном участке. Но это совершенно не соответствовало действительности. Да, возможно, изредка кому-то и удавалось открыть сейф благодаря своей чувствительности, но основными инструментами по-прежнему оставались ломы и свёрла. Отверстия во взломанных сейфах буквально выдирали, ручки и замки вырывали. Когда и это не срабатывало, сейфы поджигали. Взломщики использовали «супчик» — нитроглицерин. Однако физики Лос-Аламоса были склонны верить в мифы, поэтому, когда по лабораториям начали распространяться слухи о том, что среди персонала появился взломщик сейфов, большинство из них подумало (и никогда потом в этом не сомневалось), что Фейнман овладел мастерством различать едва уловимые щелчки.

Чтобы научиться взламывать сейфы, ему надо было искать свой способ, не оглядываясь на мифы и легенды. Ричард прочитал воспоминания медвежатников, чтобы узнать их секреты. Они вдохновили его и наполнили мечтами о славе. Авторы хвастались, что открывали набитые золотыми слитками сейфы под водой, но он мог бы написать книгу, которая затмила бы все опубликованное ранее. В предисловии он мог бы заявить: «*Я вскрыл сейфы, в которых хранилась вся секретная документация по проекту атомной бомбы: графики поставки плутония, технологии его очистки, информация о необходимом количестве, о принципе действия атомной бомбы, о том, как происходит образование нейтронов… В общем, абсолютно обо всем*». Лишь со временем, собирая по крупицам необходимые данные, он осознал, насколько рутинной была эта работа. Так как ему пришлось исключить из

своего арсенала дрели и нитроглицерин, он должен был максимально использовать все практические сведения, что можно было найти. О некоторых из них Фейнман вычитал в книгах, до некоторых додумался сам, но большинство сводилось к заключению, что люди довольно предсказуемы:

• Они, как правило, оставляют сейфы незапертыми.

• Они часто оставляют заводские настройки, такие как 25-0-25, например.

• Они склонны записывать комбинации цифр, часто на краешках выдвижных ящиков столов.

• Они предпочитают составлять комбинации из дат рождения или других цифр, которые можно легко запомнить.

Последнее имело огромное значение. Фейнман подсчитал, что из восьми тысяч возможных комбинаций только сто шестьдесят две соответствовали датам. Первая — месяц от 1 до 12. Учитывая погрешность, нужно было попробовать только три варианта: 0, 5 и 10. Для числа от 1 до 31 требовалось шесть вариантов. Для года от 1900 до текущего — всего девять. Это можно было сделать за минуты. Ричард также выяснил, что репутацию взломщика можно заработать благодаря всего лишь нескольким случайным удачным попыткам.

Повозившись с собственным сейфом, он понял, что, когда дверца сейфа открыта, последнюю цифру комбинации можно было легко узнать, вращая ручку до момента, когда опустится язычок замка. Через некоторое время таким же способом он научился выяснять и вторую цифру. Он взял в привычку задумчиво облокачиваться о сейф кого-нибудь из коллег и как будто небрежно покручивать циферблат. Так он составил список частично вычисленных комбинаций. Учитывая, что оставалось определить всего одну цифру и имеющийся допуск на ошибку, все остальное не составляло труда, и, чтобы поддерживать легенду, Фейнману приходилось исключительно для отвода глаз носить с собой инструменты и делать вид, что процесс занимает много времени.

Последняя весна

Снова наступил вечер пятницы. Каменистый серпантин опасно спускался с плато Лос-Аламос и вился по пустынной местности, покрытой бледно-зеленой порослью. А вдали, на противоположной стороне, в пятидесяти километрах к востоку горы Сангре де Кристо вздымались отблесками вершин. Их было так хорошо видно, что казалось, будто до них рукой подать. Воздух в тот день был особенно чистым. Этот пейзаж глубоко запечатлелся в памяти многих из тех, кто приехал с востока страны или из Европы и жил здесь, любуясь им, два года. Когда шел снег, оттенки белого казались невероятно глубокими. Фейнман наслаждался видом облаков, спускавшихся молочной пенкой по долине и окутывавших горы в лунном сиянии. Этот вид способен был задеть что-то даже в самых неромантичных умах. Ричард посмеивался над своими чувствами: «*Вот ведь и во мне просыпается эстет*». Дни сливались между собой. Особенно теперь: никаких сокращенных рабочих дней, никаких теорий, чтобы отвлечь свой ум. Вычисления требовали пристального внимания. День Фейнмана начинался в 8:30 и заканчивался пятнадцать часов спустя. Иногда Ричард и вовсе не покидал вычислительный центр. Однажды он работал без перерыва тридцать один час, а на следующий день узнал, что ошибка, найденная через минуту после его ухода, парализовала работу всей команды. Перерывов было не так много, и все они сводились к поездкам либо на другой конец плато, чтобы ликвидировать загорание химических реактивов, либо чтобы присутствовать на одном из общих городских собраний Лос-Аламоса, где, ссутулившись, насколько позволяло его телосложение, Ричард обычно сидел на втором ряду за отрешенным Оппенгеймером. Еще можно было проехаться с приятелем Клаусом Фуксом до индейских пещер и исследовать их, ползая на четвереньках, до наступления сумерек.

Однако каждую пятницу или субботу, если представлялась такая возможность, Фейнман покидал Лос-Аламос. Он спускался вниз по изрезанной колеями дороге на маленьком «шевроле» Пола Олума или на синем «бьюике» Клауса Фукса и прокручивал в голове нерешенные вопросы. И в это время он мог вернуться к обдумыванию трудных квантовых задач, оставленных в Принстоне. Переключаться на выходные было непросто. Каждая поездка напоминала о том, что еще одну неделю он провел без Арлин. Он был похож на героя шпионского романа, который, как писал его автор, «сомневался, сможет ли он и на этот раз

проделать путь от одного тайного мира до другого и остаться способным распознать себя настоящего. Сумеет ли удержать равновесие между двумя жизнями и не запутаться? Или, как это случилось однажды, ощутит себя как нечто, курсирующее между двумя точками пространства».

Позднее, когда стала известна шокирующая правда о том, что Клаус Фукс был советским шпионом, Фейнман подумал, что на самом деле его другу не так уж трудно было скрывать свои мысли. Ведь сам он тоже вел двойную жизнь. Он все время тосковал по Арлин и испытывал беспокойство, но в то же время коллеги считали его невероятно беззаботным. Бывало, он сидел вместе со всеми, смотрел на кого-то, даже на того же Клауса Фукса, и думал, как просто прятать от окружающих свои чувства. Лос-Аламос вступал в свою третью весну, и Фейнман знал, что она будет последней. На какое-то время ему показалось, что напряжение ослабло. Ему удалось наладить процесс вычисления, что давало возможность поспать несколько лишних часов. Он принял душ, придя с работы, почитал около получаса перед сном. На секунду ему показалось, что худшее позади. Он написал Арлин:

«Ты сильная и красивая женщина. Тебе не всегда удается оставаться сильной, но сила твоя изменчива, как горный поток. Мне порой кажется, что ты наполняешь меня своей силой, что без тебя я чувствовал бы себя опустошенным и слабым… Сейчас мне намного сложнее писать об этом».

Он всегда заканчивал письма словами «*Я люблю тебя*», «*Я все еще люблю тебя*» или «*Я серьезно болен вечной любовью к тебе*».

Рабочий темп снова стал возрастать. Фейнман часто вспоминал времена, когда за двадцать долларов в неделю работал в отеле на побережье Фар-Рокуэй. Отель принадлежал его тете, а ему приходилось или обслуживать столики, или помогать на кухне. Где бы он ни был, он играл на барабанах, и окружающим приходилось либо полюбить, либо терпеть эти нервные или веселые ритмы. Это была не музыка. Сам Ричард с трудом выносил мелодии, доносившиеся из магнитофона его приятеля Джулиуса Эшкина. Фейнман прозвал это устройство «популярной деревянной трубкой, лишь имитирующей музыку и издающей звуки, соответствующие черным точкам на бумаге».

Обстановка становилась все более напряженной. Отношения между офицерами службы безопасности и учеными обострились, и Фейнману все сложнее становилось сохранять лояльность. Его коллегу больше часа допрашивали. Словно в мелодраме, сидящие в темном углу прокуренной комнаты мужчины «расстреливали» его вопросами. «Но не пугайся, — писал он Арлин. — Им не

удалось выяснить, что я релятивист». Иногда страх сковывал Фейнмана. Его мучили боли в кишечнике. Он сделал рентген легких — все было чисто. Имена мелькали у него в голове: возможно, Дональд, если девочка, то Матильда. Путси пила слишком мало молока. Но как он мог помочь ей, ведь он был так далеко от нее! Двести долларов в месяц уходило на оплату комнаты и кислорода, еще триста — медсестрам, и еще триста им едва хватало на все остальное. Зарплата руководителя группы, участника Манхэттенского проекта, которую он получал, составляла триста восемьдесят долларов в месяц. Если учитывать сбережения Арлин в три тысячи триста долларов плюс деньги, полученные от продажи пианино и кольца, они смогли бы протянуть еще десять месяцев. Но Арлин, казалось, угасала.

Письма летали туда и обратно почти каждый день. Они писали друг другу, словно мальчик и девочка, не владеющие искусством любовной переписки. Они описывали друг другу все, что с ними происходило в течение дня: сколько спали, сколько денег потратили. Мейси прислала Арлин сорок четыре цента — неожиданный возврат за почтовый заказ. «Я чувствую себя миллионером. Я должна тебе двадцать два цента», — написала она. Периодически у него возникали проблемы с пищеварением и опухали веки, у нее лихорадочное возбуждение сменялось состоянием, когда она ощущала упадок сил. Она кашляла с кровью, и ей был необходим доступ к кислороду. Они использовали одинаковую бумагу, которую Арлин заказала по почте, и вскоре у всех ее родственников и многих друзей Ричарда на холме были такие же коричневые или зеленые бланки с подписями, купленные за доллар. Для себя Арлин заказала два вида бланков: официальные — «миссис Ричард Ф. Фейнман»; и неофициальные — с теми же словами, которые Ричард когда-то срезал со своих карандашей:

ДОРОГОЙ РИЧАРД
Я ЛЮБЛЮ ТЕБЯ

ПУТСИ

Она украшала конверты красными сердцами и серебряными звездами, военные цензоры — надписями «вскрыто инспектором армии США».

Они могли назвать друг друга «глупышка» или «дурачок», а потом переживать, не обидно ли это. «Ты не такой, просто милый и смешной, — писала Арлин Ричарду. — Ты ведь понимаешь, что я имею в виду, Тренер?» Проводя дни в одиночестве в своей тесной палате, украшенной несколькими картинами и

безделушками, подаренными на свадьбу, Арлин переживала, что у Ричарда могут быть другие женщины. Он прекрасно танцевал на вечеринках в Лос-Аламосе и постоянно флиртовал с медсестрами, женами коллег и секретаршей Оппенгеймера. Чтобы заронить подобные мысли в голову Арлин, достаточно было мимолетно упомянуть жену одного из сотрудников. Что же можно сказать о случае, когда Ричарда избрали, чтобы он возглавил протест против появления военной полиции у женского общежития (оказалось, что кто-то занимался проституцией). Он постоянно ее успокаивал: «*Всё под контролем. Я люблю только тебя*». Арлин же как заклинание повторяла снова и снова: он высокий, воспитанный, добрый и сильный, он поддерживает ее, но иногда может и сам положиться на нее. Он должен доверять ей полностью, как она постепенно научилась доверять ему. Им нужно было теперь думать за двоих. Ей нравилось, как он подтягивался, чтобы открыть верхнее окно, до которого она не могла достать сама, и как он говорил с ней детским голоском.

Они не занимались любовью до начала этого мрачного года. Их осторожные разговоры ни к чему не приводили. Ричард боялся воспользоваться слабостью Арлин, или боялся, что причинит ей вред, или просто боялся. Арлин же все крепче запирала на засов свои чувства. Она прочитала книгу «Любовник леди Чаттерлей»[113] («Нет, — говорила она. — Люби меня! Люби меня и скажи, что не оставишь! Скажи, что будешь со мной! Скажи, что никогда не отпустишь, не отдашь ни миру, ни кому-то другому!») и популярную в 1943 году книгу «Любовь в Америке» (Love in America). «Я не знаю, — хотя некоторые и заявляют об этом с математической точностью, — насколько секс важен в жизни мужчины и женщины», — провокационно писал автор. Американцы в этом плане отставали от европейцев. «Мы пока еще не сформировали идею любви как искусства или обряда… Мы, кажется, не осознаём, что любовь женщины не зависит ни от хороших поступков со стороны мужчины, ни от его бойскаутского поведения. Любовь — это не благодарность и не жалость. В любви хочется получать столько же, сколько отдавать, а женщина, которая любит, стремится только отдавать снова и снова».

Арлин наконец приняла решение, что это случится в воскресенье, когда у нее не будет других посетителей. Она скучала по Ричарду, и в мыслях, и физически, и сказала ему:

«Милый, я начинаю думать, что, возможно, усталость, которую я испытываю, вызвана тем, что мы сдерживаем эмоции. Я уверена, нам обоим будет лучше, если мы дадим волю своим желаниям».

Она написала ему за несколько дней, что пришло время, а

потом не могла заснуть. Она вырезала фразу из объявления в газете: «НАШ БРАК ПРЕЖДЕ ВСЕГО». Она упомянула о будущем, которое их ожидает. Еще только пара лет, и он станет известным профессором (физикам по-прежнему трудно было устроиться на работу, где они могли бы применить свои знания), а она — матерью. Как обычно, извинялась за то, что часто бывала мрачной, недовольной, за то, что говорила порой обидные вещи и что постоянно давила на него, не давая передохнуть. Ее мысли путались.

«Мы должны бороться… за каждый маленький шаг на нашем пути… мы не можем постоянно спотыкаться… эти падения слишком дорого нам обходятся… Я буду для тебя олицетворением всех женщин сразу… Я всегда буду твоей первой любовью… и, конечно, преданной женой… мы будем счастливыми родителями… Мы будем делать все, чтобы Дональд появился на свет… Я хочу, чтоб он был похож на тебя… Я так горжусь тобой, Ричард… Ты прекрасный муж и любовник, и… что ж, Тренер, в воскресенье я покажу тебе, что имею в виду.

Твоя Путси».

Напрасные надежды

Состояние Арлин продолжало ухудшаться. «Пей больше молока!» — писал Ричард в мае. Она похудела до тридцати восьми килограммов и выглядела так, будто голодала.

> «Ты замечательная. Каждый раз мысли о тебе наполняют меня радостью. Должно быть, это любовь. По крайней мере, звучит как определение любви. Да, это любовь. Я люблю тебя.
>
> Увидимся через два дня.
>
> *Р. Ф. Ф.»*

Они стали чаще обсуждать результаты медицинских анализов. Нужно было верить в лучшее, но Фейнман был близок к отчаянию. Время летело слишком быстро. Может быть, найти другого врача? Почему бы не выпить еще одну бутылку молока прямо сейчас, когда ты думаешь об этом?

Если физика как наука продвинулась далеко вперед, то медицина, казалось, топталась на месте. С отчаянием Ричард и Арлин пытались ухватиться за любую возможность. Он услышал о новом лекарстве, что-то, начинающееся на «*сульф-*», и написал его разработчикам на Восточное побережье. Ему ответили, что, к сожалению, изучение сульфабензамида находилось пока в зачаточной стадии. Со времени открытия сульфаниламидных препаратов, замедляющих развитие бактерий, не прошло еще и десяти лет. Но и им было далеко до настоящих антибиотиков.

И вот Ричард снова писал какому-то доктору на другой конец страны. Они решили, что Арлин ждет ребенка. После того как они нарушили целибат, у Арлин прекратилась менструация. Как такое возможно? Они были одновременно испуганы и счастливы. Ричард не стал говорить своим родителям, но сообщил сестре, тогда студентке колледжа. Джоан была в восторге от перспективы стать тетей. Они начали придумывать имена и строить новые планы. Но Фейнману по-прежнему казалось, что Арлин теряет силы, он замечал даже признаки истощения. Возможно, никто не связал бы прекращение менструации при таком состоянии с беременностью, но они толковали это именно так, ведь другие варианты были слишком печальны. Доктор не спешил обнадеживать Арлин. Главный врач клиники в Браун Миллс сказал, что беременность нужно прервать немедленно.

«Обратитесь с этим к специалисту», — настойчиво советовал он. Потом тест оказался отрицательным. Они не знали, что думать. Врач в Лос-Аламосе объяснил Ричарду, что подобные тесты весьма ненадежны, и им следовало сдать анализы в лаборатории Альбукерке. Там наверняка имеется все необходимое для пробы Фридмана.

Тот же доктор сообщил, что слышал о новом веществе, получаемом из плесени (стрептомицин?), которое, предположительно, излечивало от туберкулеза морских свинок. Если оно действительно помогало, то, по мнению врача, вскоре должно было стать общедоступным. Арлин отказывалась верить отрицательным результатам теста. Она записала в своем блокноте загадочную фразу «P. S. будет 59». В тот же день медсестра из больницы написала Фейнману, что Арлин харкает кровью. Он снова открыл энциклопедию. Ничего. Он перелистывал страницы: туберкулез, туляремия, туф… Туф — разновидность вулканических пород. Туника — вид одежды. Он написал в следующем письме: «Даже о Турции мы знаем, что это страна». Арлин же теперь временами бывала слишком слабой, чтобы писать ему в ответ. Он предпочитал неопределенность. Незнание было для него разочарованием, мучением, но в то же время давало утешение.

«Держись, — писал он. — *Мы ни в чем не можем быть уверены. Нам сказочно повезло в жизни*».

Пока они переживали трудные времена, в Европе наступил День Победы, а за ним и двадцать седьмой день рождения Ричарда. Арлин приготовила ему очередной сюрприз. Лаборатория была завалена газетами, пестревшими заголовками «Вся страна отмечает день рождения Р. Ф. Фейнмана!» Они были повсюду: на столах, на стенах. И все же война, позволившая многим ученым проявить свои лучшие качества, закончилась. Кровавый круг в Тихом океане замыкался. Теперь не надо было угрожать бомбой ни Германии, ни Японии. Уран продолжал прибывать. Впереди оставалось одно испытание — один последний эксперимент.

В клинике Мэйо в Миннесоте тем временем проводился еще один эксперимент — первое клиническое испытание стрептомицина, вещества, открытого почти за два года до этого, в августе 1943 года. В испытаниях принимали участие два пациента. Когда начали проводить эксперимент, осенью 1944 года, оба испытуемых были на грани смерти от туберкулеза, но теперь оба быстро шли на поправку. Тем не менее только к августу следующего года количество участников эксперимента увеличилось до тридцати человек. Врачи могли наблюдать, как

восстанавливались поврежденные участки, а легкие очищались. Год спустя изучение стрептомицина как противотуберкулезного средства переросло в крупнейший проект, когда-либо проводимый в области исследования лекарственных средств и заболеваний. В эксперименте принимали участие более тысячи пациентов. В 1947 году стрептомицин был представлен широкой общественности.

Открытие стрептомицина, так же, как и пенициллина за несколько лет до этого, сдерживалось тем, что в медицину научные методы внедрялись слишком медленно. Медики только-только начинали осознавать, насколько эффективны эксперименты, проводимые под их контролем и повторенные тысячи раз, но еще не были готовы использовать статистические данные, чтобы выявить основные феномены. Врач, первым выделивший культуру, которую он назвал *Streptomyces griseus,* из мазков, взятых из гортани курицы, еще в 1915 году заметил те же микроорганизмы в почве и понял, что они способны убивать болезнетворные микробы. Должно было пройти десять лет, прежде чем результаты исследования таких микроорганизмов были систематизированы, был проведен их скрининг (тестирование) и бактериологическое исследование, а также оценка их эффективности.

Страх перед ядерной угрозой

Научное направление, связанное с изучением последствий как длительного, так и кратковременного радиоактивного облучения и с обеспечением безопасности людей, только зарождалось. Чувство миазматического страха перед радиацией в тот период еще ни у кого не возникало. Исследователи Манхэттенского проекта обращались с новыми радиоактивными веществами с непринужденной легкостью и беззаботностью. И несмотря на то что работники, непосредственно занимавшиеся плутонием, должны были носить специальные комбинезоны, перчатки и респираторы, многие из них получали слишком большие дозы облучения. В прототипах реакторов случались утечки радиоактивного вещества. Ученые же подчас игнорировали или неправильно истолковывали опознавательные знаки, указывавшие на наличие радиации. Эксперименты по определению критической массы были рискованны, а меры предосторожности, по сегодняшним меркам, довольно поверхностны. Экспериментаторы вручную монтировали идеально сияющие блоки урана с массой, близкой к критической. Один из них, Гарри Даглян, работавший в ночную смену, работал со слишком большим образцом, который буквально выскользнул у него из рук, Судорожно ухватив его, чтобы предотвратить цепную реакцию, он увидел переливающийся синий ореол ионизированного воздуха. Через две недели он скончался от лучевой болезни. Позже Луис Злотин отверткой попытался подпереть радиоактивный блок. Отвертка соскочила, он погиб. Как и многие другие ученые, Луис недооценил риски, подсознательно занижая вероятность несчастного случая (один к ста, к двадцати?) и цену ошибки (бесконечно высокой).

Чтобы оценить быструю реакцию, экспериментаторы придумали тест, проведение которого, по словам Фейнмана, было равнозначно тому, чтобы «пощекотать хвост спящего дракона». Так его и прозвали — «испытание с драконом». Он заключался в том, что кто-то сбрасывал слиток гидрида урана через тщательно обработанное кольцо из того же материала. Гравитация должна была помочь достичь надкритического состояния, и гравитация же, как предполагали, должна была обеспечить безопасное завершение эксперимента. Фейнман предложил более безопасный вариант: в качестве абсорбера использовать бор, что позволило бы перевести надкритический материал в подкритический. Оценив, как быстро прекратится размножение нейтронов, можно было рассчитать и их скорость размножения в отсутствие бора.

Арифметический расчет, таким образом, обеспечил бы своего рода защиту. Этот эксперимент назвали «экспериментом Фейнмана», но его так и не провели. Времени было слишком мало.

Вряд ли в Лос-Аламосе представляли, насколько серьезными окажутся проблемы, связанные с обеспечением безопасности, — проблемы, которые впоследствии стали очевидны. В Ок-Ридже, Теннесси и Хэнфорде на десятках тысяч квадратных метров производственных площадей новых заводов было налажено производство крупных партий урана и плутония. Соединения и растворы этих веществ помещали в металлические контейнеры, стеклянные бутылки и картонные коробки и складировали на бетонном полу хранилищ. Уран хранили в чистом сухом виде либо в виде соединений с кислородом или хлором. Рабочие доставали эти вещества из центрифуг или сушильных шкафов и перекладывали в емкости. Только значительно позже, когда удастся преодолеть препоны, накладываемые правом правительства на секретность своей деятельности и дезинформацию, в результате проведенных крупных эпидемиологических исследований будет доказано, что низкий уровень радиации намного более опасен, чем можно было ожидать. Однако руководство производственных предприятий закрывало глаза не только на это, но и на более актуальные и ощутимые угрозы, в том числе и на вероятность возникновения неуправляемой цепной реакции.

Фейнман, казалось, успевал везде, несмотря на то, что в 1944–1945 годах темпы работы возросли. По просьбе Теллера он прочитал серию лекций, в которых были рассмотрены основные вопросы проектирования и сборки бомб: расчет критической массы как для металла, так и для его гидрида; различие в протекании реакции в реакторе, бойлере с водой и «гаджете»; метод оценки эффективности различных материалов, из которых изготавливаются отражатели нейтронов; как на практике реализовать теоретические расчеты в пушечной и имплозивной схемах. Фейнман отвечал за расчет мощности урановой бомбы в зависимости от концентрации урана-235 и за оценку безопасного количества радиоактивных материалов в различных условиях. Когда Бете понадобилось найти теоретика для «Подразделения G»[114] (физическое подразделение по разработке «гаджета» G), он подключил Фейнмана к работе четырех разных групп. Более того, он сообщил Оппенгеймеру, что, поскольку было принято решение разрабатывать метод имплозии, «основная доля предстоящих работ будет выполняться группой Т-4», которой руководил Ричард. При том, что официально Фейнман был всего

лишь консультантом группы, занимающейся вычислением на компьютерах *IBM*, Бете принял решение, что Фейнман будет иметь «полную власть».

Тем не менее в Ок-Ридже, где скопились первые партии обогащенного урана, некоторые должностные лица высказали предположение, что подобная ситуация может представлять опасность. Одно из писем, пришедших в Лос-Аламос, начиналось словами: «Уважаемые господа, в настоящее время на участке 9207 не предусмотрены действия, направленные на то, чтобы можно было остановить реакцию, вызванную случайным скоплением небезопасного количества материала…» Далее в письме за подписью руководителя одного из предприятий компании Tennessee Eastman Corporation высказывалась просьба «установить на заводе какое-нибудь современное противопожарное оборудование, возможно, использующее специальные химические вещества». Оппенгеймер признал, что опасность существует. Он пригласил Теллера и Эмилио Сегре, руководителя группы радиоактивности экспериментального подразделения. Сегре осуществил инспекционную проверку, были привлечены и другие теоретики, и, наконец, для решения проблемы обратились к Фейнману, учитывая его опыт в расчетах критической массы.

Как выяснил Сегре, распределение информации по категориям пользователей или по объектам, осуществляемое армейским руководством, привело к тому, что ситуация на заводе в Ок-Ридже действительно стала опасной. Рабочие на предприятии не имели представления о том, что вещество — та зеленая жидкость, разлитая по большим бутылям, которые они перевозили, — предназначено для бомбы. Некоторые официальные лица знали об этом, но считали, что могут обеспечить безопасность, не допуская скопления материала в количествах, близких к критическим. Однако им был неизвестен факт, очевидный для экспертов Лос-Аламоса: присутствие водорода (в воде) приводило к уменьшению скорости нейтронов до опасных значений, при которых для запуска реакции нужно было значительно меньшее количество урана. Сегре ошеломил руководство предприятия в Ок-Ридже, сообщив, что вероятность взрыва имеющегося запаса «жидкого» урана, учитывая степень его очистки, была более чем высока.

Фейнман начал с того, что повторно осмотрел запасы радиоактивных веществ и обнаружил, что проблема была даже более серьезной. Во время проверки Сегре случайно заходил в одно и то же помещение дважды и поэтому сделал неверные выводы, думая, что хранящиеся там партии находились на разных складах. В десятках отделений Фейнман видел емкости объемом

от 1 тысячи до 10 тысяч литров. Он сделал чертежи, отметив их точное расположение на кирпичном или деревянном полу, вычислил влияние друг на друга твердых брусков урана, складировавшихся в тех же помещениях, учел расположение смесителей, испарителей и центрифуг, а затем встретился с инженерами, чтобы изучить планы строящихся объектов. Ситуация на заводе была близка к катастрофической. В любой момент в уране, которого накопилось уже достаточное количество, могла возникнуть цепная реакция, протекающая с выделением тепла и радиации, причем ее скорость могла быть высокой настолько, что была способна спровоцировать взрыв. Отвечая на вопрос представителя компании *Eastman* о способах подавления реакции, он написал, что можно использовать соли кадмия или бор, но упомянул, что при возникновении надкритической реакции химикаты не смогут ее подавить. Казалось, что Фейнман рассматривает некие далеко не очевидные ситуации: «Во время вращения центрифуги металл мог скапливаться вместе, возможно, ближе к центру. Однако самым ужасным было то, что два отдельных куска урана, каждый из которых вполне безопасен, могли быть нечаянно соединены. Фейнман спросил, что будет, если заклинит какой-то клапан или на месте не окажется наблюдателей. Он также указал на то, что некоторые операции слишком устарели. Он замечал мельчайшие нюансы всех операций. «Пуста ли СТ-1, когда мы сбрасываем из WK-1?.. Пуста ли Р-2, когда перегоняются расплавленные соли? Контролер дал добро по поводу осадка в Р-2? При каких обстоятельствах это допустимо?» В итоге во время встречи с военными и руководителями компании Ричард предоставил подробную программу по обеспечению безопасности. Он также разработал способ (снова опираясь на вариационный метод решения нерешаемых другим способом интегральных уравнений), позволяющий инженерам на месте приблизительно рассчитывать безопасное количество материалов, складируемых в помещениях разной формы. Некоторые потом утверждали, что он буквально спас им жизни.

Общение с властями в Лос-Аламосе было прекрасным опытом. Первый визит Фейнмана в Ок-Ридж совпал с его первым полетом на самолете. Особую изюминку этому путешествию придавали специальный военный статус рейса и секретные документы, которые были приклеены к спине Ричарда под рубашкой. Оппенгеймер хорошо подготовил своего молодого протеже. Фейнман был убежден, что работа на заводе не будет безопасной, пока люди не узнают, что именно делают, и настаивал, чтобы военные разрешили прочитать несколько

лекций по ядерной физике. Оппенгеймер дал ему инструкции на случай сложных переговоров.

— Говори, что *Лос-Аламос не сможет взять на себя ответственность за безопасность завода в Ок-Ридже, если не …*! — учил он.

— То есть ты хочешь, чтобы я, малыш Ричард, поехал туда и сказал им все вот это? — переспросил Фейнман.

— Да, малыш Ричард, — ответил Оппенгеймер, — ты поедешь туда и сделаешь это.

Джон фон Нейман во время их прогулки в горах рассказывал о том, что некоторые люди могут гордиться тем, что пренебрегают опасностью, однако меж труб и бутылок с запасами ядерной продукции, заполняющих первые в мире урановые склады, ответственность настигла Ричарда. От его оценок и предложенных им методов обеспечения безопасности зависели жизни людей. Что, если эти оценки были недостаточно точны? Проектировщики принимали их как факт. Фейнман не узнавал сам себя: молодой человек, полный сомнений, страдающий головокружениями, внешне выглядел как человек более солидный и уверенный в себе. Вспоминая те события через много лет, он говорил, что ему пришлось быстро повзрослеть.

Вероятность смертельных случаев на заводе в Ок-Ридже волновала его тогда куда больше, чем грядущие жертвы. Иногда той весной его посещала мысль, что захудалый отель «Эль Фидель», где он беззаботно снимал комнату во время своих поездок в Альбукерке, стал для него ловушкой. Он не мог там больше оставаться.

Я подожду

В один из воскресных дней, добираясь на попутках до Лос-Аламоса по грунтовой дороге, Ричард заметил в нескольких километрах к северу, в Эспаньоле, яркие ярмарочные огни. Уже много времени прошло с тех пор, когда они с Арлин были на ярмарке, и он не удержался. Он прокатился на шатком колесе обозрения и на аттракционе с подвешенными на цепях металлическими сиденьями. Он не стал бросать кольца, потому что в качестве призов предлагались непривлекательные фигурки Христа. Увидев, как дети смотрели на аттракцион в форме самолета, он купил им билеты. Все это навевало грустные мысли об Арлин. Позднее Фейнман вернулся домой с тремя женщинами. «Но они были страшненькие, — писал он Арлин, — так что я остался верен тебе, даже не ощутив соблазна».

Неделю спустя он упрекнул ее за проявление слабости, а потом, чувствуя себя полным ничтожеством, написал последнее письмо, которое она прочитает.

«Моей жене.

До меня всегда медленно доходит… Наконец-то я стал понимать, как тяжело ты больна. Я знаю, сейчас не время просить тебя постараться не беспокоить других <…> Сейчас время лелеять тебя так, как ты этого хочешь, а не так, как я думаю. Сейчас время любить тебя, и не важно, далеко я или рядом.

Все это пройдет. Ты поправишься. Знаю, ты не веришь в это, но я верю. Так что я подожду и пожурю тебя уже потом, а сейчас я — любящий тебя навеки, и я у твоих ног в тяжелейшее для тебя время…

Прости, что подвел тебя, не став опорой, которая была тебе необходима. Теперь я тот, на кого ты можешь положиться, кому можешь довериться, в кого можешь верить. И я больше ни за что не огорчу тебя. Я сделаю все, что ты захочешь. Ведь я твой муж.

Я восхищаюсь тобой, прекрасной, терпеливой женщиной. Прости, что до меня так медленно доходит.

Я твой муж. Я люблю тебя».

Он написал письмо и своей матери, прервав долгое молчание. Однажды ночью Ричард проснулся в 3:45 и никак не мог снова заснуть. Он не знал, почему, и до самого рассвета стирал носки.

Его команда, занимающаяся расчетами, отложила все остальные задания и приступила к решению основной задачи — расчету возможной мощности устройства, которое должно будет взорваться через несколько недель на полигоне Аламогордо во

время первого и единственного испытания атомной бомбы. С того момента как Фейнман взял на себя руководство группой, ее производительность выросла в несколько раз. Он придумал систему, которая позволяла прогонять через машину одновременно три задания. В истории развития вычислительной техники ее внедрение можно считать предшественником того, что позже назовут параллельными процессами, или конвейерной обработкой данных[115]. Ричард следил за тем, чтобы промежуточные операции были стандартизированы и их можно было с минимальными поправками использовать для различных расчетов. Он ввел перфокарты, в которых разные задачи обозначались разными цветами. Последовательность курсирования перфокарт по помещению была разной, и иногда маленькие партии обгоняли большие, как нетерпеливые отстающие игроки в гольф. Фейнман также придумал эффективный способ исправления ошибок без остановки процесса. Так как ошибка влияла только на определенную часть расчетов в каждом цикле, то теперь, когда ее обнаруживали, нужно было заменить лишь небольшой пакет перфокарт, что в итоге позволяло не прерывать основные расчеты.

Когда позвонили из санатория Альбукерке и сообщили, что Арлин умирает, Фейнман работал в кабинете, где располагалось вычислительное оборудование. Он договорился с Клаусом Фуксом о том, что возьмет его машину. Когда он вошел в палату, Арлин лежала неподвижно и едва могла следить за ним взглядом. Ричард провел рядом с ней несколько часов, считая тикающие минуты. Его захлестывало какое-то странное чувство, которое он не мог толком объяснить. Он слышал, как Арлин то переставала дышать, то снова делала вдох, видел, как тяжело ей было глотать. Он пытался представить этот процесс с точки зрения науки. Вот клетки, которым не хватает воздуха, сердце, которое не может больше качать кровь… Наконец, он уловил ее последний короткий вдох. Вошедшая медсестра констатировала смерть. Ричард наклонился, чтобы поцеловать Арлин, и удивился, ощутив, что ее волосы пахнут так же, как прежде.

Медсестра зафиксировала время смерти — 9:21 вечера. Ричард вдруг заметил, что часы остановились в этот самый момент: какая-то мистика, которой обычно склонны верить люди, далекие от науки. Чуть позже все прояснилось: часы дышали на ладан, он сам ремонтировал их несколько раз, и, скорее всего, медсестра случайно остановила их, сверяя время в полумраке комнаты.

На следующий день состоялась кремация. Он собрал немногочисленные вещи Арлин и вернулся в Лос-Аламос поздно

ночью. В общежитии вечеринка была в самом разгаре. Ричард вошел и присел. Он выглядел совершенно разбитым. Его команда, продолжавшая заниматься вычислениями, не нуждалась в его помощи. Друзьям же он сказал, чтобы не обращали на него внимания. Среди вещей, принадлежавших Арлин, он нашел маленький блокнот на спирали, в котором она делала записи о своем самочувствии. «16 июня — смерть», — написал в нем Ричард.

Фейнман вернулся к работе, но вскоре Бете отправил его домой в Фар-Рокуэй, чтобы он немного отдохнул. (Родители не знали о его предстоящем приезде, пока не раздался телефонный звонок и голос с иностранным акцентом не попросил его позвать. Джоан ответила, что брат не был дома уже несколько лет. Тогда голос попросил передать Ричарду, когда тот приедет, что звонил Джонни фон Нейман.) Ричард провел дома несколько недель, пока не получил зашифрованную телеграмму. Он вылетел из Нью-Йорка в субботу вечером и прибыл в Альбукерке в полдень на следующий день, 15 июля. На армейской машине его отвезли прямиком в дом Бете, где жена Ханса, Роуз, приготовила ему сэндвичи. Фейнман едва успел на автобус, который отвез всех к месту наблюдения — горному хребту с прекрасным видом на участок пустыни Хорнадо-дель-Муэрто, который уже прозвали нулевой отметкой.

Мы, ученые, умные люди

Испытание оставило неизгладимый след в памяти каждого, но всплывающие при воспоминании о нем зрительные образы у всех были разными. Бете запомнил безупречный оттенок фиолетового в светящемся ионизированном воздухе. Вайскопф — мрачный вальс Чайковского и внезапно всплывший образ сияющего ореола со средневекового полотна, изображающего вознесение Христа. Отто Фриш — поднимающееся облако, закрученное, словно торнадо. Фейнман запомнил звук, пронизывающий до костей, который он услышал, когда пытался успокоить свое «научное мышление», совершенно сбитое с толку. И многие из них вспоминали вытянувшуюся во весь рост фигуру Ферми, разбрасывающего по ветру обрывки бумаги. Он измерял их перемещение, сверяясь с таблицей, заранее записанной в блокноте, и определил, что мощность первой атомной бомбы составляла примерно 10 килотонн в тротиловом эквиваленте — несколько больше, чем предполагали теоретики, и несколько меньше, чем будет следовать из более поздних измерений. Два дня спустя, рассудив, что уровень излучения на поверхности должен быть уже низким, Фейнман, Бете и Вайскопф поехали осмотреть казавшуюся покрытой расплавленным стеклом местность, которую Ричард ранее видел с самолета. Башни не было. Песок расплавился. Позже здесь появился небольшой памятник.

То, что произошло, изменило их всех. Каждый сыграл свою роль. Если бы кто-то из них мог хотя бы приблизительно рассчитать таблицу поправок на ветер топорно собранной бомбы, сброшенной на Нагасаки, то никогда бы не забыл это. И не имеет значения, насколько им удавалось чувствовать себя отстраненными от того, что произошло на проекте «Тринити» и в Хиросиме: все, кто работал тогда на холме, знали нечто, что невозможно утаить от самих себя. Они знали, что были соучастниками финальной сцены принесения огня. Оппенгеймер читал лекции, в которых говорил о том, что теперь в легенде о Прометее поставлена окончательная точка. И все они знали, несмотря на их труд и гениальность, как просто это было.

В официальном докладе, представленном чуть позже в том же году, говорилось, что бомба была оружием, «созданным не по дьявольскому вдохновению, а в результате усилий тысяч обычных людей, трудившихся ради безопасности своей страны». И все же их нельзя было назвать обычными людьми. Они были учеными, и некоторые из них уже почувствовали, как темная дымовая завеса

окутала прежде невинное слово «физик». (В проекте того же доклада было отмечено, что «в целом отношение американского народа к своим ученым представляет собой любопытную смесь невероятного восхищения и удивительного презрения». Никогда потом оно не будет столь своеобразным.) Вскоре после своего радостного письма родителям Фейнман произвел несколько арифметических расчетов в желтом блокноте. Он рассчитал, что массовое производство бомб, подобных той, что сбросили на Хиросиму, обойдется не дороже обычных бомбардировщиков B-29, прозванных летающими крепостями. При этом их разрушительная сила в тысячу раз превосходила разрушительную силу тысячи самолетов, груженных десятью тоннами стандартных бомб. Смысл был понятен. «Никакой монополии, — писал он. — Никакой защиты. Никакой безопасности, пока мы не обретем контроль на мировом уровне».

Под заголовком «Мастерство и знание» он заключил:

«Большинство из того, что мы делали, было известно… Наша секретность не мешает другим работать над бомбой. Некоторым, возможно, даже на руку, что мы упоминаем, какой из двух процессов наиболее эффективен, и то, что указываем размер составных частей. Но скоро то, что мы сделали с Хиросимой, будет можно сделать и с Колумбусом, и с *сотней* других таких же городов.

Мы, ученые, умные люди. Слишком умные. Вам недостаточно? Шесть квадратных километров для одной бомбы недостаточно? Что ж, люди все еще работают над этим. Просто скажите, как много вам надо!»

Многие ученые вдруг обнаружили, что им трудно расстаться с «волшебной горой». Они продолжали проводить исследования, хотя и менее значимые, но тем не менее представляющие определенный интерес. Они катались на лыжах в окрестностях Великой Долины, периодически осознавая, что именно эти тросы на подъемниках доставили бомбу на нулевую отметку. Некоторые из них приняли участие в проекте создания водородной бомбы, который возглавил Теллер, кто-то остался в Лос-Аламосе, где за забором формировались ведущая национальная лаборатория и центр военных исследований Америки. Ученые, покинувшие это место, начали осознавать, что вряд ли им еще когда-либо придется работать над столь важным совместным проектом с такой научной страстью.

Фейнмана ничто не держало в Лос-Аламосе. Он собирался работать на факультете Ханса Бете в Корнеллском университете. Раймонд Бирдж сильно разозлил Оппенгеймера, затягивая с предложением работы, о котором последний уже говорил.

Оппенгеймер написал снова: «Мне кажется, что при сложившихся обстоятельствах не слишком много смелости требовалось, чтобы сделать предложение этому молодому ученому… Я, пожалуй, слишком полагался на его безупречную репутацию в кругах, где он известен… Он не просто невероятно одаренный теоретик, но и исключительно здравомыслящий, сердечный человек, а также прекрасный учитель… Один из самых ответственных людей, кого я когда-либо встречал… Здесь его работа была неоценима. Ответственность же за нее слишком тяжела для его возраста…» Бирдж наконец созрел и тем летом пригласил Фейнмана на работу, но было уже поздно. Когда Арлин была жива, они мечтали переехать в Калифорнию, чтобы поправить ее здоровье. Теперь же Бете ничего не стоило переубедить Ричарда.

Фейнман первым из руководителей покинул Лос-Аламос в октябре 1945 года. Ему оставалось лишь написать несколько отчетов и провести несколько окончательных проверок в Ок-Ридже и Хэнфорде. В свою последнюю поездку в Ок-Ридж, проходя мимо витрины магазина, Ричард увидел симпатичное платье. «Оно бы понравилось Арлин», — подумал он и впервые после ее смерти заплакал.

Корнелл

* * *

В представлении рядового американца история физики четко делится на два этапа: до и после атомной бомбы. Пройден рубеж, наступила новая эра: начиная с лета 1945 года в этом не сомневались ни политики, ни педагоги, ни журналисты, ни священники, ни сами ученые.

«Среди древнегреческих богов был титан по имени Прометей, — так начиналась статья, вышедшая в «Христианском веке» следующей зимой. — Он похитил огонь у богов и отдал его людям. В благодарность за это люди стали чествовать Прометея как благодетеля человечества и божественного покровителя науки и образования». Но эпоха титана подошла к концу. Атомная бомба умерила пыл его последователей-ученых, и священник-эссеист с восторгом сообщал об этом. Изобретение человеком оружия собственного самоуничтожения свело на нет весь многовековой прогресс. И теперь в дело должны вмешаться служители христианства. Даже ученые, по его словам, «впервые в истории отрекаются от своего дела, становятся политиками и священниками и читают мрачные проповеди о вечном проклятии, которое ждет тех, кто не покаялся». Здесь он намекал на Роберта Оппенгеймера, уловившего в легенде о Прометее метафору — впрочем, кто ее не уловил? — и выступившего с воззваниями к публике и научному сообществу. Однако его «проповеди», в отличие от прямолинейных пророчеств о вечном проклятии, имели гораздо более тонкий подтекст. Ученый напомнил о том, что религия испокон веков видела в науке угрозу, но теперь не только у богобоязненных членов общества появился реальный повод для тревоги. По словам Оппенгеймера, со времен теории Дарвина не было научного открытия более устрашающего, чем ядерная бомба.

Еще в ноябре 1945-го, когда демобилизованные солдаты и моряки только возвращались домой с тихоокеанского театра военных действий, а понятия радиоактивного убежища и гонки вооружений еще не вошли в обиход, как не прозвучали и требования запретить ядерное оружие, Оппенгеймер предвидел, что на смену ликованию придет страх. «Атомное оружие — угроза для всего человечества», — заявил он в речи, обращенной к друзьям и коллегам, которые работали с ним бок о бок последние два с половиной года. Желающие послушать его собрались в самом вместительном зале Лос-Аламоса — местном кинотеатре. Оппенгеймер понимал, что газетчики, прославляющие достижения ученых, вскоре узнают, что ядерная бомба не такой

уж и загадочный объект, что деление ядра и имплозия не являются чем-то исключительно сложным и что на самом деле создать атомную бомбу под силу многим государствам.

Прометей был не единственным героем, с кем тогда отождествляли ученых; припомнили также и Фауста. В XX веке фаустианская сделка с дьяволом — душа в обмен на знания и власть — уже не казалась столь ужасной, как в Средние века. Благодаря знаниям у нас появились стиральные машины и лекарства, а дьявол перестал вызывать страх и превратился в карикатурный образ из воскресных газет и персонажа бродвейских мюзиклов. Но взрывы в двух японских городах напомнили людям о том, что с дьяволом шутки плохи и сделка с ним чревата самыми печальными последствиями. Оппенгеймер знал (прежде всего по собственному опыту), что ученые уже начали сомневаться в истинности своих мотивов. «Мы создали нечто ужасное», — сказал Роберт Уилсон Фейнману, чем удивил последнего и омрачил его ликование. Другие ученые постепенно приходили к той же мысли. Речь Оппенгеймера напомнила собравшимся о том, что они и так знали, но начали забывать: два года назад вероятность того, что нацисты разработают бомбу первыми, была весьма реальной, а вот победа США в войне представлялась не такой уж несомненной. Эти уважительные причины в последнее время стали упускать из виду. По мнению Оппенгеймера, мотивация некоторых участников проекта была отнюдь не возвышенно-патриотической; ими двигало банальное любопытство и жажда приключений, что, по его словам, было правильно. Присутствующие в зале удивились, услышав последнее замечание, но Оппенгеймер повторил: «И это правильно». За несколько дней до этой речи Фейнман уехал из Лос-Аламоса и не слышал упоминания Роберта об их общем кредо, которое было низведено до тягостной необходимости оправдываться.

«Настоящая и единственная причина, почему мы взялись за эту работу, кроется в естественной потребности ученого *познавать*. Процесс познания невозможно остановить. Ученый верит, что стремление выяснить, как устроен мир, — благое стремление, и докапываться до сути — благо. Он также считает полезным подарить человечеству величайший источник власти, с помощью которого можно управлять миром. Если вы не считаете, что знание законов мироздания и сила, которую оно дает, представляют для человечества исключительную ценность, вы не можете быть ученым. Так же как не может быть ученым тот, кто не готов использовать это знание, распространять его и отвечать за последствия».

Так говорил человек, подаривший людям огонь.

Лето 1945 года изменило отношение простых американцев к ученым. Вдруг стало ясно, что знание дает власть. Наука как институт, или «организованная наука», по той роли, которую она играла в обеспечении нацбезопасности, теперь уступала лишь армии. Осенью в обращении к Конгрессу президент Гарри Трумэн заявил, что положение США в мире напрямую зависит от исследований, координируемых университетами, промышленными компаниями и правительством. «События последних лет показывают, на что способна наука, и пророчат ей великие свершения». В срочном порядке были учреждены государственная Комиссия по атомной энергии, Управление военно-морских исследований[116] и Национальный научный фонд. В Лос-Аламосе, Ок-Ридже, Аргонне к югу от Чикаго, Беркли и Брукхейвене на Лонг-Айленде появились постоянные научные лаборатории — в довоенное время об этом и не мечтали. В Брукхейвене лаборатория расположилась на бывшем военном полигоне площадью 2400 гектаров. Финансирование потекло рекой. До войны правительство оплачивало лишь одну шестую часть расходов на научные исследования; к концу войны пропорции изменились с точностью до наоборот: теперь лишь одна шестая финансирования поступала из негосударственных источников. Кроме того, у правительства и общественности появилось беспрецедентное чувство собственничества в отношении науки. Физики заговорили о мировом правительстве и международном контроле ядерного оружия; толпы церковников, председателей фондов и конгрессменов включили в свой репертуар лекции о миссии науки и научной этике.

Тем временем популярная пресса прославила Оппенгеймера и его коллег. Любой ученый, принимавший участие в ядерных разработках, мгновенно приобретал статус нобелевского лауреата. Для сравнения: создатели радара из Радиационной лаборатории МТИ не пользовались даже десятой долей подобной популярности, хотя радар, по большому счету, сыграл гораздо более важную роль в победе во Второй мировой войне. Само слово «физик» вошло в моду. Эйнштейн вдруг перестал быть математиком и стал физиком. Даже те ученые, которые не имели отношения к исследованиям атома, приобрели большой авторитет. Немного позже вербовщик Фейнмана Уилсон будет с ностальгией вспоминать те «спокойные времена, когда физика была приятным интеллектуальным занятием, по популярности сравнимым с изучением средневекового французского». Пока физики-ядерщики мучились от угрызений совести, вызванных мгновенной смертью ста тысяч жителей Хиросимы и Нагасаки, их

восхваляли как героев и магов; но многие оказались не готовы к столь противоречивой роли. Первые семена, которым предстояло дать мрачные всходы, были посажены уже тогда. Пройдет меньше десяти лет, и начнется охота на ведьм, эпоха сенатора Маккарти; Оппенгеймера лишат допуска к секретной работе, а общественность поймет, что научные знания — товар, требующий особо осторожного обращения: они могут быть засекречены или переданы врагу. Знания — ценная тайна и шпионская валюта.

Физики-теоретики тоже узнали кое-что новое о своей работе, и речь Оппенгеймера, прозвучавшая в Лос-Аламосе в ноябре 1945 года, послужила напоминанием об этом. Довоенные изыскания в области теоретической физики привели ученых к пониманию того, что исследователь основывает свою идею на понятиях из реального мира, но, подобно призрачной тени, концепция не имеет аналогов в действительности. Еще до начала работы над бомбой квантовая механика продемонстрировала, что наука порой выходит за грани разумного. Мы строим модели, исходя из жизненного опыта, но убеждаемся, что теория не совпадает с реальностью.

Университет в мирное время

Звездный статус физиков-ядерщиков и его новые преимущества немедленно отразились на жизни американских университетов, в чьем штате состояли «звезды». Одним из первых это ощутил президент Корнелла Эдмунд Дэй: достаточно было сравнить две встречи с физиками, посвященные распределению бюджета, — до и после войны.

В ходе первой беседы ведущий физик-экспериментатор Роберт Фокс Бэчер, который тогда собирался в отпуск (позднее он возглавит отделение экспериментальной физики Манхэттенского проекта), просил Дэя установить циклотрон, подобный тем, что уже стояли в Беркли и Принстоне. Стоимость эксплуатации прибора равнялась годовой профессорской зарплате — четыре-пять тысяч долларов.

А через два месяца после Хиросимы штатные физики потребовали у Дэя новый ускоритель и отдельную лабораторию для его размещения. Только на этот раз речь шла о трех миллионах долларов и расходах на эксплуатацию от двухсот пятидесяти тысяч долларов в год. Причем ученые намекнули, что без ускорителя им придется искать другое место работы — институт, более благосклонный к ядерным исследованиям. У попечителей таких средств не было, но после бурной дискуссии все единогласно проголосовали за. А Дэй заявил: «Теперь основная проблема заключается не в том, чтобы управлять ядерной энергией, а в том, чтобы контролировать ядерщиков. Спрос на них необыкновенно высок, но и обходятся они недешево». Сам Бэчер ненадолго вернулся в Корнелл, но вскоре отбыл в Вашингтон, где стал первым членом новой Комиссии по атомной энергии. Через три года в Корнелле установили новый ускоритель — синхротрон. Попечители не прогадали, доверившись физикам: Управление военно-морских исследований выделило университету щедрую субсидию. Правда, через три года синхротрон устарел и началось строительство новой модели.

Осенью 1945 года, перед началом учебного года, Фейнман впервые после войны приехал в Корнелл. Итака была маленьким городком на задворках штата; для выросшего в Нью-Йорке парня — захолустье захолустьем. Фейнман ехал в поезде и по дороге составлял план курса «Математические методы в физике», который ему предстояло читать; курс входил в основную программу магистратуры. Фейнман сошел с поезда с одним чемоданом, все еще до конца не осознавая свой новый профессорский статус. Хотелось, как раньше, закинуть сумку на

плечо, но вместо этого носильщик проводил его к машине и помог устроиться на заднем сиденье. Таксисту было велено ехать в самый большой отель города.

Той осенью в Итаке, как и во многих других американских городах, отели и апартаменты были забиты под завязку. Найти жилье было крайне сложно. В связи с демобилизацией число желающих учиться в колледже выросло в десятки раз. Грянул студенческий бум. Даже сонная Итака теперь напоминала город на Диком Западе времен золотой лихорадки. В Корнеллском кампусе в срочном порядке строились дома и временные общежития. За неделю до приезда Фейнмана сгорели пять новых бараков.

В первой гостинице мест не оказалось; он постучался в другую. Потом понял, что ему не по карману разъезжать на такси, чтобы стучаться в разные двери, и, сдав чемодан в камеру хранения, пошел по улице мимо домов и общежитий с темными окнами. Вскоре он забрел на территорию университета. Повсюду лежали кучи опавших листьев, и его усталый взгляд уловил в них сходство с периной. Если бы можно было прилечь на одну из них! Но свет уличных фонарей бил в глаза, заставляя идти дальше. В конце концов, заметив открытую дверь, он подошел к ней и заглянул внутрь. В холле стояли диваны, и Фейнман спросил сторожа, можно ли переночевать на одном из них, смущенно объяснив, что он — новый профессор.

Наутро, кое-как умывшись в общественном туалете, он зарегистрировался на кафедре физики и направился в жилищное управление, находившееся в Уиллард-Стрейт-холле — здании, расположенном в самом центре кампуса на пологом холме. Служащий надменно сообщил, что ситуация с жильем плачевная — настолько, что одному из профессоров вчера пришлось ночевать в холле.

— Знаете что, друг мой, — огрызнулся Фейнман в ответ, — я и есть тот профессор. Сделайте что-нибудь. — Его неприятно поразил тот факт, что в крошечной Итаке слухи распространяются настолько быстро. Кроме того, он начал понимать, что военная выправка неуместна в мирное время. Война приучила его неукоснительно соблюдать сроки и вовремя приходить на встречи. Корнелл с его студенческой братией в десять тысяч человек в этом отношении казался совершенно разгильдяйским заведением. К своему удивлению, Фейнман обнаружил, что на ближайшую неделю у него ничего не запланировано. Ничего больше не оставалось, как бродить по кампусу и готовиться к занятиям. Даже местная речь казалась ему какой-то заторможенной; в ней начисто отсутствовала армейская

краткость, к которой он привык. Здесь у людей было время говорить о погоде.

Первые месяцы он страдал от одиночества. Коллеги не спешили возвращаться к жизни на гражданке. Даже Бете остался в Лос-Аламосе и приехал в Корнелл лишь в декабре. Семестр начался позже обычного, учебный процесс был очень плохо организован. Не хватало места. Классы в Рокфеллер-холле поделили надвое, установив в них перегородки. Из чуланов сделали кабинеты. На территории трех теннисных кортов наспех соорудили деревянные бараки. Вскоре в тесный кабинет Фейнмана в Рокфеллер-холле подселили его коллегу из Лос-Аламоса Филипа Моррисона — того самого, что провез плутониевое ядро атомной бомбы в Аламогордо на заднем сиденье армейского седана. В Корнелл его заманили обаятельный, серьезный Бете, которому Моррисон полностью доверял, и Фейнман, которого Моррисон нашел одиноким и подавленным. Бете тоже это почувствовал, но остальные ничего не замечали. Позднее Бете саркастически замечал, что «Фейнман в депрессии выглядит чуть веселее любого другого человека на пике ликования».

Ричард коротал время в библиотеке, читая непристойные отрывки из «Тысячи и одной ночи» и бросая зазывные взгляды на девушек. В отличие от большинства университетов Лиги плюща, в Корнелл со дня его основания принимали женщин (а университет был основан после Гражданской войны), хотя они автоматически зачислялись в Колледж домашнего хозяйства. Фейнман ходил на танцы для первокурсников и обедал в студенческой столовой. Он выглядел моложе своих двадцати семи лет и внешне ничем не отличался от демобилизованных солдат. Партнерши по танцам, узнав, что перед ними физик-ядерщик, только недавно занимавшийся созданием атомной бомбы, смотрели на него недоверчиво. Он тосковал по Арлин. Еще перед отъездом из Лос-Аламоса он стал встречаться с женщинами, отдавая предпочтение самым красивым. Друзья видели в этом отчаянное, нарочитое отрицание горя.

Тем временем пропасть отчуждения между Фейнманом и его матерью не уменьшалась. Люсиль, которая в свое время была яростной противницей их с Арлин брака, после ее смерти написала сыну эмоциональное письмо:

«…Хочу, чтобы ты знал: я рада, что ты женился на ней и сделал все возможное, чтобы наполнить ее короткую жизнь счастьем. Она боготворила тебя. Прости, что не смогла взглянуть на ситуацию твоими глазами. Я переживала за тебя и испытывала страх при мысли об испытаниях, которые тебе придется пережить.

Но ты держался молодцом. Теперь попытайся жить дальше без нее…»

Умоляя его вернуться домой, она сулила ему молочные реки и кисельные берега и клялась, что не будет заставлять его причесываться. Он заехал в июле, правда, ненадолго — всего на пару дней. В августе новость о взрыве атомной бомбы обрушилась на Фейнманов, прозвучав как гром среди ясного неба. Друзья и родственники обрывали телефон. Люсиль тщетно пыталась дозвониться в Санта-Фе. Один из кузенов Ричарда позвонил с телеграфа и зачитал заявление Оппенгеймера, только что пришедшее по радиосвязи. Затем после одиннадцати вечера зазвонил телефон, и чей-то голос произнес: «Вас беспокоит принстонский “Треугольник”[117]. Правда ли, что ваш сын Ричард Фейнман был самым большим неряхой среди выпускников 1940 года?» Это звонил другой кузен.

«У меня тоже есть чувство юмора, — написала Ричарду Люсиль, — но атомная бомба не повод для шуток».

«Узнав о твоей роли в этом чудовищном событии, я ощутила восторг и страх. Я с ужасом слушаю о смертях и разрушениях, вызванных взрывом… и молюсь, чтобы эти жуткие страдания, причиненные человеку человеком, положили конец уничтожению людьми себе подобных… Неудивительно, что мне показалось, будто ты нервничал. Кто угодно чувствовал бы себя так же в столь опасном месте».

Это чувство — сочетание гордости и страха, которое в тот вечер испытывали и сами ученые, заставило Люсиль вспомнить об одном примечательном происшествии из детства Ричарда. «Однажды я играла в бридж в гостиной, а мой кроха развел костер в корзине для бумаг, выставив ее за окно. Кстати, — добавила она, — ты так и не рассказал, как тебе удалось потушить костер».

Той осенью по пути из Нью-Мексико в Итаку Фейнман так и не заглянул домой. В какой-то момент Люсиль начала понимать, как сильно навредило ее неприятие брака с Арлин их отношениям с сыном. Однажды поздним вечером, не в силах уснуть, она написала отчаянное письмо — любовное письмо матери к сыну. Оно начиналось со слов: «Ричард, что между нами произошло? Почему мы так отдалились друг от друга? Мое сердце болит за тебя. Оно готово разорваться, и слезы жгут глаза, когда я пишу эти строки».

Она писала о его детстве: каким желанным ребенком он был, как его ценили; как она читала ему прекрасные сказки, а Мелвилл выкладывал для него узоры на полу из цветной плитки; как они пытались воспитать в нем мораль и чувство

долга. Напомнила, как они гордились всеми его достижениями, начиная со школы и заканчивая аспирантурой.

«Мое сердце радовалось за тебя столько раз, что невозможно сосчитать. А сейчас… сейчас мне странно видеть, какие плоды я пожинаю. Мы далеки, как два полюса».

Не упоминая об Арлин, она сообщила, что сожалеет. «Должно быть, это моя вина. Я сама не заметила, как тебя потеряла». У других матерей были любящие сыновья. Чем она хуже? Подобно отвергнутой любовнице, Люсиль завершила письмо страстной мольбой.

«Я нуждаюсь в тебе. Я не могу без тебя. Я никогда тебя не брошу. Даже смерть не разрушит наши узы… Думай обо мне хоть изредка и дай знать, что я присутствую в твоих мыслях. Мой дорогой сын, о, мой дорогой, что еще я могу сказать! Я люблю тебя и всегда буду любить».

В 1945 году он все-таки приехал домой на Рождество. Постепенно рана начала затягиваться. Фейнман попытался вернуться к незаконченной теории, разработкой которой занимался в Принстоне, но это ни к чему не привело. После завершения упорной, целенаправленной работы последних трех лет внутри у него образовалась пустота, заполнить которую оказалось не так уж просто. Ему было трудно сосредоточиться на исследованиях. Пришла весна; он сидел на траве под открытым небом и мучительно размышлял о том, что, возможно, его лучшие годы как ученого уже позади, а он так ничего и не достиг. Ричард создал себе имя, которое пользовалось уважением среди физиков старшего поколения, но теперь, когда на планете воцарился мир и все возвращалось на круги своя, он осознал, что ничем не подтвердил свою репутацию. Помимо двух работ, опубликованных еще во время учебы в университете — несерьезной пробы пера о космических лучах, написанной вместе с Вальяртой, и докторской диссертации — из напечатанных материалов за ним числились лишь отчеты о работе с Уилером над теорией поглощения, которая, похоже, уже теряла актуальность.

Сложные явления, простые правила

В то время как Ричард Фейнман с трудом нащупывал почву под ногами, Джулиан Швингер чувствовал себя вполне уверенно. Эти двое стали соперниками, сами того не осознавая. Они росли в противоположных концах Нью-Йорка, в районах, которые с таким же успехом могли бы быть разделены тысячами километров, и прокладывали путь в физику каждый в своем неповторимом стиле. Швингер с его тяжелыми совиными веками и легкой сутулостью, приобретенной уже в двадцать с небольшим, усердно пытался казаться утонченным денди, в то время как Фейнман с не меньшим усердием стремился к обратному. Швингер тщательно подбирал одежду, отдавая предпочтение самым дорогим маркам, и водил «кадиллак». Работал по ночам, вставая лишь после обеда. Был виртуозным оратором — говорил гладко и без запинок. Гордился тем, что никогда не пользуется конспектами. Молодой англичанин, посетивший одну из его лекций, назвал Швингера одержимым (по сравнению с чем энтузиазм Фейнмана казался ему утомительным). «Им, казалось, овладел дух самого Маколея[118]: он говорил выверенными фразами, тщательно сконструированными сложноподчиненными предложениями, не забывая привести всю конструкцию к логическому завершению». Швингер любил побуждать слушателей к мыслительной деятельности. Он никогда бы не сказал прямо: «Я женился и отправился в свадебное путешествие». Нет. «Покончив с холостяцкой жизнью, я совершил ностальгическое путешествие по стране в очаровательной компании», — вот какой была его манера изложения. В похожем стиле он писал и уравнения.

Покровителем Швингера был Исидор Айзек Раби. Раби любил описывать их первую встречу: Джулиан, семнадцатилетний юнец, молча поджидавший его в кабинете, внезапно вступил в спор, который разгорелся вокруг парадокса Эйнштейна — Подольского — Розена, доказывавшего, по мнению его авторов, неполноту квантовой механики и описанного в недавно опубликованной работе. Как и многие застенчивые молодые люди, вознамерившиеся идти своим путем, Швингер был самонадеян и этим заработал проблемы с администрацией городского колледжа, так как не считал необходимым посещать занятия. Раби помог ему перевестись в Колумбийский университет и с садистским наслаждением подначивал недовольных педагогов, грозившихся его исключить. «Ты мужик или мышь? Поставь ему кол!» — науськивал он профессора химии, чьи лекции отличались редким занудством, верно рассудив, что кол в перспективе

аукнется профессору, а не студенту. Швингер еще не успел получить диплом (он окончил университет в девятнадцать), а Раби уже разрешал ему заменять себя на лекциях по квантовой механике. Исследования, впоследствии ставшие основой его докторской диссертации, Швингер также завершил еще до получения диплома. Ферми, Теллер и Бете знали молодого физика лично, были знакомы с его работами и уже сотрудничали с ним. Тем временем Фейнман учился на втором курсе МТИ, хотя был моложе коллеги всего на три месяца. Количество научных работ, написанных Швингером в соавторстве с десятками других ученых, не поддавалось исчислению. Все они отличались безукоризненностью изложения и публиковались главным образом в Physical Review, самом престижном научном физическом журнале. К тому моменту, как Фейнман напечатал свою докторскую, Швингер трудился в качестве члена Национального исследовательского совета в Беркли и работал непосредственно с Оппенгеймером.

Как и Раби, он отказался от работы в Лос-Аламосе и предпочел ей радиационную лабораторию и изучение радара. Его карьера по-прежнему развивалась стремительно: к концу войны Швингер занял место Паули — специально приглашенного лектора, задачей которого было информировать ученых из лаборатории о новостях в области «невоенной» физики. Ученые-атомщики, чья гражданская карьера была грубо прервана войной, находились теперь в полной изоляции за забором в пустыне. Физики одного возраста с Фейнманом — возраста, который является самым важным и продуктивным в карьере ученого, — особенно остро ощущали свою оторванность от мира.

Швингер побывал в Лос-Аламосе лишь однажды, в 1945 году, и там впервые пересекся с Фейнманом. Последний поразился научной плодовитости своего ровесника; он-то думал, что Швингер старше. Забыв со временем содержание лекции Швингера, прочитанной им тогда физикам-теоретикам, Фейнман хорошо запомнил его манеру выступать: то, как он вошел в зал, склонив голову, подобно выходящему на арену быку; как демонстративно отложил тетрадь с конспектами; как виртуозно владел речью, наводя благоговейный ужас на присутствующих.

Теперь Швингер работал в Гарварде и вскоре должен был стать профессором — и это в неполные двадцать девять лет. Гарвардский комитет всерьез рассматривал на эту роль только Швингера и Бете; по поводу первого членов комитета волновало, сможет ли он рано вставать и приходить на работу к полудню. Оказалось, что смог, и вскоре на лекции Швингера по ядерной физике начали стекаться студенты не только Гарварда, но и

физического факультета МТИ.

Тем временем Фейнман с головой погрузился в свой курс по математическим методам в физике. В отличие от швингеровского, этот курс был обычным — стандартный предмет, который преподавали на всех физических факультетах. Но Фейнман понимал, что в этой области только что произошел переворот. В Лос-Аламосе математические методы в физике были подвергнуты тщательному пересмотру; их усовершенствовали, убрали все лишнее, переписали и, по сути, изобрели заново. Фейнман знал, какие из них имеют реальную практическую пользу, а каким учат просто потому, что учили всегда. Он планировал сделать упор на нелинейность и обучить студентов хитростям и уловкам, которые он сам использовал в решении уравнений. Сделав первые наброски еще в ночном поезде в Итаку, он с нуля разработал совершенно новый курс.

На первой странице тетради с картонной обложкой — такими он пользовался со школы — Фейнман записал первые принципы:

> Сложные явления — простые правила.
>
> При решении уравнений на стыке физики и математики опираемся на правила.

Он размышлял о том, как слепить из студентов свое подобие. Как он решает задачи? Какими методами руководствуется?

Нужно уметь отбросить все лишнее… понимать суть физической задачи и знать, где именно к ней можно применить математические методы.

Он решил вкратце рассказать студентам о том, чему собирается и не собирается их учить. В его планах — познакомить их с практическими хитростями, позволяющими сэкономить время и пренебречь демонстрацией чистой математики.

Он избавился от *абстрактной* математики.

При этом все темы будут прорабатываться максимально тщательно. Предстоит большая работа, много практики. Погружение в детали, чтение книг, индивидуальные консультации, решение примеров. Если дело не пойдет, можно сбавить темп и подробно разобрать возникшие проблемы.

Он планировал обучить студентов как основополагающим математическим методам, которые обычно не освещаются в рамках стандартных курсов, так и новейшим, о которых еще никто ничего не знает. Это будет не абстрактная, а практическая математика.

Осталось определить, к какой степени точности необходимо стремиться. И можно двигаться вперед.

Напоследок он сделал короткую запись об изучении

трудоемких традиционных методов — к примеру, это касалось вычисления криволинейных интегралов; исходя из своего опыта, он считал, что большинство интегралов легко считались «в лоб». Фейнман вычислял интегралы на спор и всегда выходил победителем. Глядя, как от традиционной программы курса остаются рожки да ножки, коллеги Фейнмана беспокоились, удастся ли ему обучить студентов своим методам. Тем не менее в первые годы его преподавания усовершенствованный курс привлек не только аспирантов, для которых являлся обязательным, но и молодых преподавателей с кафедр физики и математики. Причем даже самые хладнокровные были шокированы его формулировкой задач, нередко начинавшихся так: «Атомная бомба имеет форму цилиндра с радиусом a и высотой 2π, а плотность нейтронов в ней составляет n…» Студенты очутились во власти теоретика, чья одержимость математическими методами была следствием погружения в непростые для понимания базовые положения квантовой механики. Раз за разом Фейнман доказывал, что все идет от основ, а в основе всего лежат ключевые принципы распространения световых и звуковых волн. Он демонстрировал пошаговые вычисления интенсивности всенаправленной радиации, излучаемой периодическим источником; неохотно визуализировал векторы, матрицы и тензоры; суммировал бесконечные ряды, которые иногда сходились, а иногда расходились, снова становясь бесконечностью.

Постепенно он освоился в Корнелле, хотя прогресса в теоретических исследованиях по-прежнему не намечалось. Он думал только о бомбе и даже дал интервью местной радиостанции, рассказав все без прикрас. *Ведущий: На прошлой неделе доктор Фейнман поведал нам о том, что одна атомная бомба сделала с Хиросимой и что другие могут сделать для Итаки…* Ведущего интересовали автомобили на атомном топливе: возможно ли это? Многие радиослушатели, сказал он, ждут того дня, когда можно будет закинуть в топливный бак ложку урана и с ветерком промчаться мимо бензозаправочной станции. Фейнман ответил, что сомневается в практической осуществимости этой идеи: «Радиоактивные лучи, образуемые при расщеплении урана в двигателе, попросту убьют водителя». Но он все же потратил некоторое время на то, чтобы изучить возможности мирного применения атомной энергии. В Лос-Аламосе он изобрел и запатентовал скоростной реактор, генерирующий электроэнергию (правда, патент был оформлен на правительство США). Он также задумывался о применении ядерного топлива в космонавтике. «Уважаемый коллега, — писал

он знакомому физику в конце 1945 года. — Я считаю, что теперь, с открытием атомной энергии, межпланетные путешествия определенно возможны». Он выступил с радикальным предложением, в то время казавшимся почти сумасбродным, — запустить ракету в космос. Категорическими ограничениями для этого оставались температура и атомная масса топлива, приводящего ракету в движение; в свою очередь, степень жаропрочности металла накладывала ограничения на температуру. Фейнман верно предсказал, что масса и объем топливного бака многократно превысят массу и объем самой ракеты. Тридцать лет спустя его прогноз подтвердился: громоздкие ступени, которые после сброса становились мусором, и гигантские топливные баки стали проклятием аэрокосмической индустрии.

Фейнман предложил применить реактивный механизм, используя движущую силу воздуха. С изобретением самолета реактивные технологии продемонстрировали свою эффективность. Космический корабль Фейнмана должен был задействовать внешние слои земной атмосферы как взлетную полосу и ускоряться, описывая круги вокруг земного шара. Реактивный корабль питался бы от атомного реактора, который бы подогревал воздух, поступающий в двигатель. На взлете предполагалось использовать крылья, а при достижении скорости более восьми километров в секунду следовало перевернуть корабль, чтобы «лететь вверх ногами, иначе сила земного притяжения перестала бы действовать и корабль выбросило бы за пределы атмосферы». Достигнув космической скорости, корабль должен был лететь к пункту назначения по касательной, как камень, выпущенный из рогатки.

Проблемой оставалось сопротивление воздуха, нагревающего корабль. Фейнман считал, что ее можно решить, правильно высчитав высоту при ускорении. «Если воздух способен нагреть корабль посредством трения, значит, этой силы хватит и для питания реактивных двигателей». Однако для эффективного функционирования в атмосфере с различной плотностью двигатели должны быть сконструированы с учетом самых передовых инженерных технологий. Что Фейнман упустил, так это решение противоположной задачи: как корабль будет замедляться при посадке в безвоздушном пространстве, к примеру на Луне. В любом случае, он никак не мог предвидеть, что у его теории есть один убийственный изъян — человеческий фактор. После Хиросимы люди перестали верить в безопасность атомной энергии, и им не понравилась бы идея летающих в небе ядерных реакторов.

Все они кажутся пылью

В 1946 году, перед началом осеннего семестра, он еще раз побывал в Фар-Рокуэй и на следующий день после Йом-Киппура выступил в местном «Храме Израилевом» с лекцией, посвященной атомной бомбе. В синагоге появился новый харизматичный раввин Джуда Кан; публика была в восторге от его проповедей на современные темы. Даже родители Фейнмана, убежденные атеисты, время от времени ходили его послушать. Мелвилл шел на поправку. Родные беспокоились из-за того, что у него постоянно повышалось давление, и весной Мелвилл лег в клинику Мэйо в Миннесоте, где стал участником одного из первых экспериментов по влиянию диеты на организм. Его рацион теперь состоял из риса и фруктов. Метод вроде бы подействовал: давление снизилось. Он вернулся домой и иногда, нарушая врачебные предписания, ходил играть в гольф с друзьями. Ему было пятьдесят шесть лет. Однажды во время обеда Фейнман заметил, что отец неотрывно смотрит на солонку. Мелвилл закрыл один глаз, открыл, закрыл другой и сказал, что у него в поле зрения появилось слепое пятно. Должно быть, в мозге лопнул маленький кровеносный сосудик.

Над семьей нависла угроза внезапной смерти отца. Мелвилл почти никогда не переписывался с сыном: это было делом Люсиль. Но теперь, приняв профессорский пост в Корнелле, Ричард впервые написал отцу. Он попытался выразить чувства любви и благодарности за последние двадцать пять лет. Растроганный Мелвилл ответил, что его переполняет гордость за сына (Люсиль тем временем ворчала, что он тратит бумагу понапрасну, потому что пишет только с одной стороны):

«Мне, папаше-простаку, нелегко писать сыну, достигшему высот знания и мудрости, которые мне и не снились… Когда ты был маленьким, у меня было перед тобой огромное преимущество, но теперь справедливее было бы мне у тебя набраться знаний, сесть в твоей тени и попытаться постичь удивительные тайны природы, неподвластные моему уму, но известные тебе».

Седьмого октября у него случился инсульт. Он умер на следующий день. Второй раз за два года Ричард расписывался в свидетельстве о смерти. Мелвилл Фейнман писал ему: «Я вижу, как ты воплощаешь мечты, которые я когда-то лелеял… Я завидую тому, насколько интеллектуально насыщена твоя жизнь благодаря постоянному общению с такими же интеллектуалами, как ты сам».

Похороны состоялись на кладбище Бэйсайд в Квинсе —

широком поле, до самого горизонта усеянном могильными камнями и памятниками. Отец Люсиль возвел там семейный склеп — каменное строение, похожее на небольшое бомбоубежище. В середине церемонии рабби Кан попросил Ричарда, как старшего сына, прочесть кадиш[119]. Джоан с болью взглянула на окаменевшее лицо брата. Меньше всего Ричарду сейчас хотелось восхвалять Господа.

Он сказал рабби, что не понимает иврит. Тогда Кан перешел на английский. Ричард выслушал слова молитвы и отказался их повторять. Он не верил в Бога и знал, что его отец тоже не верил; все это казалось ему невыносимым лицемерием. Его атеизм не был вызван безразличием к религии. Это было намеренное, холодное, рациональное убеждение, что религиозные мифы — обман, противоречащий истинному знанию. Ричард стоял, окруженный могилами, на траве около низкого погребального склепа, где в каменных гробах, водруженных один поверх другого, лежали кости его деда и бабушки. На одной из полок уже двадцать два года хранились останки его младшего брата Генри, прожившего всего месяц. Лицо Фейнмана выражало напряжение, решимость и, как показалось в тот момент Джоан, полное одиночество. После похорон отца он взорвался приступом ярости. Мать не выдержала и заплакала.

Но уже на следующей неделе в Корнелле он вел себя так, словно ничего не случилось. Как и в Лос-Аламосе примерно год тому назад, он никому не показывал своего горя, был рациональным, как всегда, и гордился этим — говорил себе, что смотрит на вещи реалистично. Начались занятия. В 1946 году в Корнелл поступило больше студентов, чем когда-либо за всю историю; число зачисленных вдвое превышало довоенные показатели. Фигура Фейнмана притягивала молодых физиков. Он стал очень авторитетным лектором.

Как-то вечером, через несколько дней после начала занятий — 17 октября — Ричард взял ручку и бумагу и, на время забыв о рациональности, написал письмо единственному человеку, который, как ему казалось, мог поддержать его сейчас:

Дорогая Арлин!

Я обожаю тебя, душа моя.

Знаю, как нравится тебе это слышать, но пишу не только для того, чтобы порадовать тебя. Я пишу, потому что это согревает мое сердце.

Я ужасно давно не писал тебе, почти два года, но, уверен, ты меня простишь, потому что понимаешь, какой я упрямый реалист; мне казалось, писать нет смысла.

Но теперь я знаю, моя дорогая жена, что поступаю правильно, делая то, что давно откладывал и так часто делал в прошлом. Я хочу сказать, что люблю тебя. Хочу тебя любить и буду любить всегда.

Мне сложно понять, что это значит — любить тебя после того, как ты умерла. Но мне все еще хочется заботиться о тебе и утешать тебя. И чтобы ты тоже любила меня и заботилась обо мне. Хочу обсуждать с тобой свои проблемы и что-нибудь вместе придумывать. Только сейчас я понял, сколько всего есть на свете, чем можно было бы заняться. Чем *нужно* было бы заняться. Шить, учить китайский, купить кинопроектор… Почему я не могу делать все это сейчас? Потому что я один, а ты была генератором идей и вдохновителем наших безумных приключений.

Во время болезни тебе казалось, что ты не в состоянии дать мне то, что мне необходимо, что ты хотела мне дать. Но ты зря волновалась. Тогда в этом не было нужды, потому что я любил тебя очень сильно и любил в тебе всё. А теперь, хоть ты не можешь мне ничего дать, моя любовь к тебе так сильна, что мешает мне полюбить кого-то еще. Я не хочу, чтобы ты уступала место другим. Даже после смерти ты лучше всех живых.

Я знаю, ты назовешь меня глупцом и скажешь, что я должен жить полной и счастливой жизнью и что не хочешь стоять у меня на пути. Наверняка ты удивишься, узнав, что у меня даже нет девушки (не считая тебя, дорогая), хотя прошло уже два года. Но что уж тут поделать, любимая. Не понимаю, почему так происходит. Я встречал много девушек, в том числе очень милых, потому что не хотел оставаться один. Но через две-три встречи все они кажутся пылью. И остаешься только ты. Лишь ты для меня реальна.

Дорогая моя жена, я так тебя люблю.

Я люблю свою жену. Моя жена умерла.

Рич

P. S. Прости, что не могу отправить письмо, — не знаю твоего нового адреса.

Это письмо возлюбленной, написанное через два года после ее смерти, совершенно не вязалось с популярным обликом Фейнмана, с той коллекцией историй и представлений, которые уже тогда связывали с его персоной. Письмо он положил в конверт, а конверт в ящик. Оно обнаружилось лишь после его смерти. О своей внезапной вспышке гнева на похоронах отца Ричард не рассказывал даже близким друзьям, хотя те, безусловно, не стали бы ставить ему в упрек один из его главных моральных принципов — нежелание мириться с лицемерием.

Раздираемый сильными эмоциями, страдающий от застенчивости, комплексов, раздражительности, тревоги и горя — отныне никто не мог приблизиться к нему настолько, чтобы увидеть его настоящего. Вместо этого он преподносил друзьям «литературную» версию себя — Фейнмана, случайно ставшего героем-вундеркиндом, своей наивностью, открытостью и добродушием, прямотой и здравым смыслом (не имеющим ничего общего с гениальностью), честностью мальчика, воскликнувшего «А король-то голый!», способным совладать с любой ситуацией, с любым человеком и даже с бюрократией. Эта версия была правдивой, по крайней мере в общих чертах, хотя, как и у всех легенд, кое-что в ней было опущено. Но легендой восхищались, ее улучшали, пересказывали, а иногда даже проживали.

Многие его друзья из Лос-Аламоса не раз слышали историю с медосмотром в призывной комиссии. Сотрудник военкомата попросил Фейнмана вытянуть руки. Тот протянул одну руку ладонью вверх, вторую — ладонью вниз. Его попросили перевернуть ладони, и он так и сделал: повернул одну ладонью вниз, а вторую — ладонью вверх, преподав военному урок симметрии. Вскоре после окончания первого учебного года в Корнеллском университете у Фейнмана появилась возможность добавить к этому анекдоту новые подробности. Призыв в армию все еще продолжался, а у него кончилась отсрочка. Служба воинского учета назначила новый медосмотр. Впоследствии Фейнман много раз рассказывал эту историю в различных вариантах — от полусерьезного до абсолютно несерьезного. Основная версия звучала так.

Раздевшись до трусов, он переходит из кабинета в кабинет, пока не оказывается у двери номер тринадцать — приемной психиатра.

Фейнман считал психиатров лжеврачами. Жуликами. Шарлатанами. Он относился к психиатрии крайне отрицательно и считал свой разум собственной сферой компетенции. Ему нравилось думать, что у него всё под контролем. Более внимательные психиатры замечали в нем тенденцию к отрицанию подсознательных «подводных течений», которые то и дело да проскальзывали: как-никак, подводные течения и отрицание были сферой *их* компетенции. Он любил подчеркивать ненаучность их занятия (удобная расплывчатая терминология, отсутствие воспроизводимых экспериментов). Недавно он посмотрел фильм Альфреда Хичкока «Завороженный», где «у героини (ее играет Ингрид Бергман), прекрасной пианистки, отнимается рука, и она больше не может играть на пианино». Фильм укрепил его предубеждение. Он считал, что любому чувству найдется

рациональное объяснение; все дело в том, что играть на пианино ужасно скучно. В фильме героиня уходит из кадра со своим психиатром, а вернувшись, садится за пианино и начинает играть. «Очковтирательство чистой воды. Терпеть не могу. Я против психиатрии. Ясно?» Помимо всего прочего, психиатры были врачами, а у Фейнмана имелись свои причины презирать медиков.

Психиатр смотрит на его карту и с улыбкой произносит:

— Здравствуйте, Дик! Где вы работаете? *(«С какой стати он называет меня Диком? Не так уж хорошо мы с ним знакомы».*)

— В Скенектади[120]. (В тот момент так и было. Тем летом они с Бете подрабатывали в General Electric.)

— А где именно в Скенектади, Дик?

Фейнман отвечает.

— Дик, вам нравится ваша работа? («*Эти расспросы были мне ужасно неприятны. Как будто какой-то придурок прицепился ко мне в баре*».)

Четвертый вопрос:

— Кажется ли вам, что окружающие вас обсуждают? — Тут Фейнман понимает, что психиатр действует по инструкции: три невинных вопроса, а дальше переходим к делу.

— И я ответил: да. — Дойдя до этого момента, Фейнман всегда начинал изображать невинность. Он был абсолютно честен, а его неправильно поняли. Ах, если бы только психиатр забыл о своих инструкциях и диагнозах и попытался его понять. *«Я не притворялся… говорил с ним, как моя мама беседует с приятельницами. Я честно пытался объяснить…»* Психиатр тем временем что-то записывает.

— Возникает ли у вас ощущение, что за вами наблюдают? — Фейнман хотел было ответить «нет», причем честно, но тут психиатр уточняет: — Например, ребята, что сидят сейчас в приемной на скамейке, разглядывают нас? — Фейнман и сам только что сидел на этой скамейке, и смотреть там было особенно не на что. Но он подсчитал в уме: так и так, в приемной ждут примерно двенадцать человек, и как минимум троим из них нечего делать, значит, они на нас таращатся. Поэтому он говорит, как можно осторожнее: — Да, возможно, двое из них на нас смотрят.

При этом он оборачивается и видит: действительно, так и есть. Но психиатр, *«этот болван, этот простофиля… даже не обернулся посмотреть, верно я угадал или нет». (И какой же он ученый после этого?)*

— Вы разговариваете сами с собой? — *«Тут я признался, что разговариваю. Правда, умолчал о том, о чем скажу сейчас вам, —*

что иногда мои беседы с самим собой приобретают весьма запутанный характер. Например: “Интеграл будет больше суммы элементов, а значит, давление станет более высоким, так?” — “Да нет, ты бредишь”. — “Нет, я говорю!” — “Да, я говорю!” И всё в таком духе. Я спорю с собой, и голоса в моей голове пререкаются».

— Вижу, вы недавно потеряли жену. А с ней разговариваете? (Этот вопрос настолько возмущает Фейнмана, что ставит под угрозу комический эффект от анекдота.)

— Вы слышите голоса? — Фейнман отвечает, что не слышит или слышит очень редко. Но признаётся, что несколько раз такое бывало. Иногда, перед тем как уснуть, он прокручивает в голове свой первый инструктаж по атомной бомбе в Чикаго и слышит голос Эдварда Теллера, его отчетливый венгерский акцент.

Дальше — больше: они затевают спор о природе безумия и ценности жизни, и все это время Фейнман продолжает донимать психиатра. Он рассказывает, что одна из сестер его матери страдала психическим заболеванием. Затем следовала кульминация анекдота, отнюдь не такая смешная, как казалось слушателям Фейнмана:

— Что ж, Дик, я вижу, у вас есть докторская степень. Где вы учились?

— В МТИ и Принстоне. А вы где учились?

— В Йеле и Лондонском университете. А что вы изучали, Дик?

— Физику. А вы?

— Медицину.

— И это вы называете медициной?

Рассказывая об этом случае, Фейнман умалчивал кое о чем, заслуживающем внимания. Например, он ни разу не попросил освободить его от дальнейшей военной службы, хотя после трех лет в Манхэттенском проекте вполне мог на это рассчитывать. Не говорил он и о том, какие разрушительные последствия для его карьеры физика-теоретика имел бы призыв в армию, случись такое, когда ему было двадцать восемь. Общаясь с психиатром, он ступил на тонкий лед. Летом 1946 года уклоняться от призыва было немодно, и вряд ли об этом стоило шутить. А психическая невменяемость, диагностированная призывной комиссией, считалась гораздо страшнее службы в армии: такой диагноз мог нанести серьезный урон жизни в гражданском обществе. Поэтому в службе воинского учета даже подумать не могли, что кому-то придет в голову притворяться психически больным; способов выявления подобного обмана не существовало. Никто не ожидал, что призывник в открытую заявит о наличии психических

отклонений у кого-либо из своих родственников; частное лечение у психиатра было тогда не такой распространенной практикой, как поколение спустя. Врачи верили, что могут полагаться на рассказ призывников о себе и что этого будет достаточно для заполнения анкеты. Фейнману же пришлось повторить свои ответы второму психиатру. Его способность вызывать в памяти голос Теллера перед сном назвали гипнагогическими галлюцинациями; психиатр отметил, что у него «странный взгляд». («Видимо, в тот момент я и произнес: “И это вы называете медициной?”») Фейнман признали негодным к службе в армии.

Тогда ему пришло в голову, что служба воинского учета может изучить его дело и обнаружить официальные письма, в которых он просит об отсрочке в связи с необходимостью проведения исследований по физике во время войны. Были и более поздние письма, в которых говорилось, что в данный момент он выполняет важную работу по подготовке будущих физиков в Корнеллском университете. Можно ли было сделать из этого вывод, что Фейнман намеренно пытался обмануть военкомат? Он написал письмо в свою защиту, в крайне аккуратных выражениях заявляя, что психиатрическому освидетельствованию в призывной комиссии не стоит придавать значения. Военкомат отреагировал на это заявление выдачей свидетельства 4-F — «непригоден к военной службе».

В тупике

Той осенью в Принстоне с грандиозным размахом отмечали двухсотлетие университета. Отовсюду съезжались ученые и высокопоставленные лица; их ждали приемы, праздничные мероприятия и официальные конференции. Дирак согласился выступить с лекцией об элементарных частицах в рамках трехдневного семинара, посвященного будущему ядерной науки. Фейнман должен был представить его — ученого, на которого он когда-то равнялся, — и провести последующую дискуссию.

Работа Дирака, в которой еще раз описывались уже известные проблемы квантовой электродинамики, не понравилась Ричарду. Приверженность гамильтонову формализму показалась ему регрессивной, тупиковой. Кроме того, Дирак нервничал и слишком много хохмил — так много, что Нильс Бор, которому предстояло выступить позднее в тот же день, встал и раскритиковал его за недостаточно серьезный подход. Фейнман произнес эмоциональную речь о том, что данная теория остается одной из нерешенных проблем в физике. «В математическом формализме нам не хватает интуитивных открытий, подобных тем, что совершил Дирак в теории электронов, — сказал он. — Нам не хватает проблеска гениальности».

День близился к концу. Где-то между лекцией Роберта Уилсона о рассеянии высокоэнергетических протонов и отчетом Эрнеста Лоуренса о работе его ускорителей в Калифорнии Фейнман выглянул в окно и увидел Дирака, лежавшего на траве и глядевшего в небо. Он вышел на улицу и сел рядом. Давно, еще до войны, Ричард хотел задать ему один вопрос. В статье Дирака, написанной в 1933 году, содержалось замечание, которое стало для Фейнмана важной подсказкой, позволившей ему обнаружить аналог действия из классической механики в механике квантовой. «Теперь легко увидеть, каким может быть квантовый аналог всего этого», — написал тогда Дирак, но ни он, ни кто-либо другой не стали развивать тему. А позже Фейнман обнаружил, что «аналог» — на самом деле точная пропорция и между этими величинами существует четкая математическая связь, которая может оказаться весьма полезной. Теперь он хотел спросить, догадывался ли об этом Дирак.

— Неужели? — ответил великий ученый, и Фейнман сказал: да, это так. Дирак ответил молчанием, и Фейнман ушел.

В университетских кругах репутация Фейнмана укреплялась с каждым днем. Отовсюду поступали предложения о работе, но все они казались неуместными, досадными и не способствовали

поднятию духа. Оппенгеймер пригласил его в Калифорнию вести весенний семестр; он отказался. В Корнелле его сделали доцентом кафедры, повысили гонорар. Потом главе физического факультета Университета Пенсильвании понадобился новый заведующий отделением теоретической физики. Тут уже за Фейнмана по-отечески вступился Бете: он не хотел отпускать его, тонко чувствуя настроение своего протеже. Бете считал, что двадцативосьмилетнему Фейнману, неожиданно утратившему свою продуктивность, повредит психологическая ответственность, которую накладывает роль лидера группы университетских физиков-теоретиков. По его мнению, больше всего тот сейчас нуждался в покое. (При этом Бете сказал администратору Пенсильванского университета, что считает Фейнмана одним из двух лучших молодых физиков современности — вторым после Швингера.) Но самое неожиданное и самое тягостное для Фейнмана предложение поступило весной от Института перспективных исследований в Принстоне, того самого, где работал Эйнштейн. Директором института недавно стал Оппенгеймер, и он хотел заполучить Ричарда в свою команду. Бывший принстонский начальник Фейнмана Генри Деволф Смит тоже хотел работать с ним, поэтому два института совместно предложили ему особое «двойное» назначение. Но Фейнман опасался, что не сможет оправдать столь высокие ожидания, и его тревога по этому поводу достигла пика. Находясь в умственном тупике и пытаясь его преодолеть, он экспериментировал с различными практиками. Некоторое время пробовал каждое утро вставать в 8:30 и работать. Однажды утром, бреясь и глядя на себя в зеркало, он понял, что предложение Принстонского университета абсурдно, что он не может его принять, как не может принять и ответственность за то впечатление, которое о нем сложилось. Он никогда не претендовал на роль Эйнштейна. Они ошиблись. На какое-то мгновение ему стало легче. Вина отчасти ушла.

В Корнелл прибыл его старый друг Уилсон, которого назначили начальником ядерной лаборатории. Как и Бете, он уловил настроение Фейнмана и вызвал его на разговор. «Не волнуйся так, — сказал он. — Это мы, начальники, несем ответственность. Мы нанимаем профессоров и берем риск на себя, а их задача — вести занятия, и до тех пор, пока они делают это удовлетворительно, они выполняют свою часть сделки». Тут Фейнман с ностальгией вспомнил дни, когда будущее науки не казалось ему миссией всей его жизни, — времена задолго до того, как ядерные физики изменили мир и стали самой мощной политической силой в американской науке, а институты со

стремительно растущими бюджетами начали гоняться за ними, как за голливудскими звездами. Ему вспомнилось, что когда-то физика была игрой, а он смотрел на изящную сужающуюся трехмерную кривую водяной струи, текущей из крана, и не спеша пытался понять, почему она течет именно так[121].

Несколько дней спустя Фейнман обедал в студенческой столовой, когда кто-то подбросил вверх обеденную тарелку — обычную тарелку с эмблемой Корнелла на каемке. В тот момент, наблюдая за ее полетом, он испытал то, что впоследствии долго считал озарением. Кружась в воздухе, тарелка колебалась. Благодаря эмблеме было видно, что кружение и колебание происходили не синхронно. Но ему показалось — а может, он просто интуитивно это почувствовал, — что между двумя вращательными движениями есть взаимосвязь. Тогда, словно собираясь сыграть в увлекательную игру, он пообещал себе решить эту задачу, записав ее на бумаге. Задача оказалась на удивление сложной, но он применил Лагранжев метод, минимизирующий действие, и высчитал, что соотношение колебания и кружения составляет два к одному. Чистота расчетов его удовлетворила, однако ему хотелось достичь более непосредственного понимания ньютоновских сил. Когда-то он уже делал это, обучаясь в университете второй год и прослушивая первый в своей жизни курс по теоретической физике: тогда он поступил провокационно и отказался применять метод Лагранжа. Фейнман поделился своим открытием с Бете.

— Но в чем важность этих расчетов? — спросил тот.

— Да нет тут никакой важности, — ответил Фейнман. — Главное, что это интересно, правда?

— Правда, — согласился Бете. И Фейнман заявил, что отныне собирается следовать исключительно своему интересу.

Ему было непросто поддерживать такой настрой, ведь в глубине души он не отказался от своих амбиций. В то время он блуждал в потемках не один: в тупике оказались и куда более именитые физики-теоретики, поставившие себе целью разрешить проблемы квантовой механики. Ричард не забыл своего болезненного спора с Дираком прошлой осенью и все еще был убежден, что подход Дирака устарел и проблемы можно решить новым, альтернативным способом. В начале 1947 года Фейнман поделился своим грандиозным планом с Велтоном. (Велтон тогда работал в Ок-Ридже, в национальной лаборатории; там же много лет спустя он закончит свою карьеру, по-прежнему терзаемый разочарованием, которое испытывали многие, кто встретился на пути Фейнмана в тот сложный период.) Фейнман не упомянул, что решает проблему из чистого интереса. «В настоящее время я

занимаюсь исследованиями общего характера — пытаюсь понять (не только математически) концепции различных направлений теоретической физики, — написал он. — Как тебе известно, сейчас я бьюсь над уравнением Дирака». Он установил взаимосвязь между осевым колебанием тарелки и абстрактным квантово-механическим понятием спина, столь успешно примененным Дираком в его теории электрона.

Фейнман и Дирак встретились снова через много лет. Они обменялись парой неловких фраз, но их разговор был столь примечателен, что оказавшийся рядом физик немедленно записал подслушанный диалог, прозвучавший как отрывок из театральной постановки.

— Я Фейнман.

— Я Дирак. *(Молчание.)*

— Наверное, здорово быть человеком, который открыл то уравнение.

— Это было много лет назад. *(Пауза.)* Над чем работаете?

— Над мезонами.

— Высчитываете уравнение?

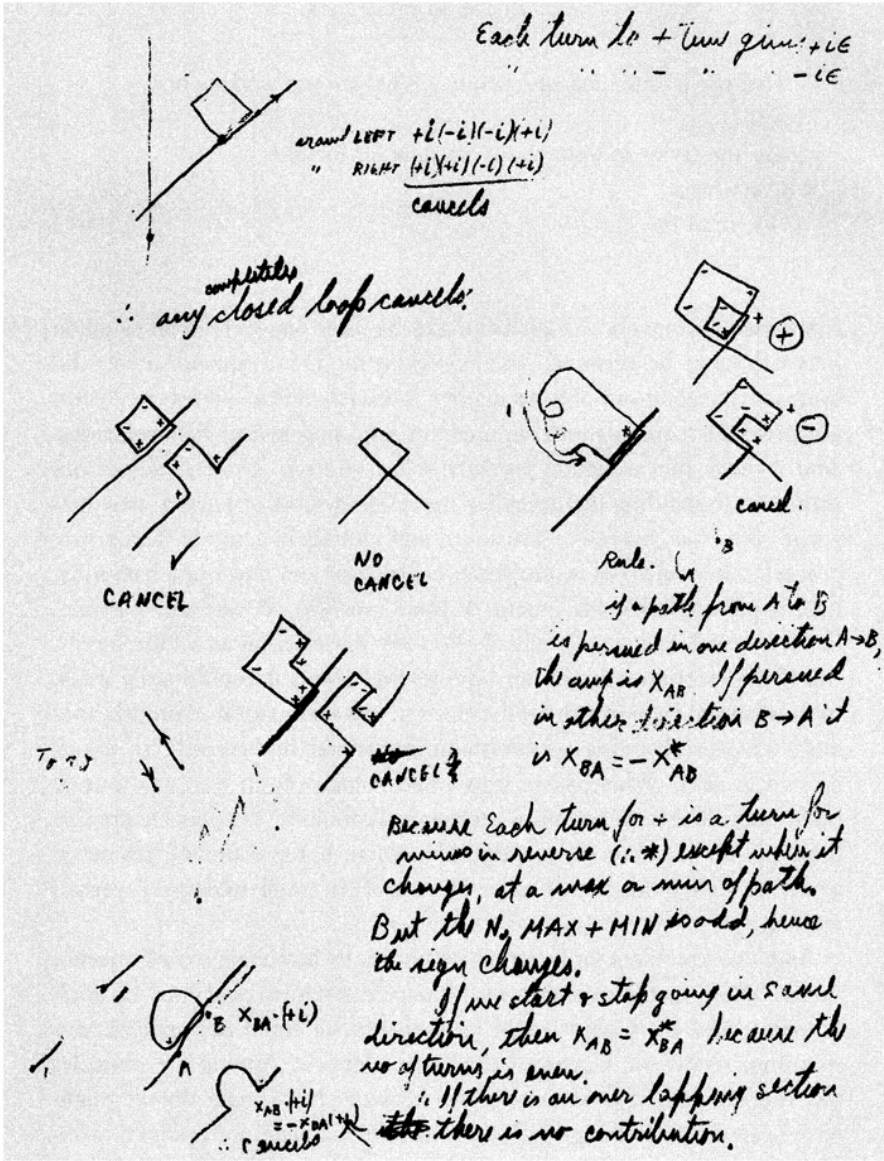
— Это очень сложно.

— Нужно стараться.

Дирак совершил нечто важное, до него никто этого не делал: благодаря ему само открытие уравнения стало считаться чем-то, достойным восхищения. Для физиков же уравнение Дирака имело и всегда будет иметь одно волшебное свойство, схожее с появлением кролика из шляпы. Оно было релятивистским: его не нужно было искусственно адаптировать для околосветовых скоростей. Уравнением также было установлено, что спин является естественным свойством электрона. Осознание этого факта приближало к пониманию обманчивости представлений о том, что новый язык физики далек от реальности. Спин не был настолько странным и абстрактным явлением, как другие свойства частиц, открытые позднее. Даже названия этих других свойств — *цвет* и *аромат* частицы — были отчаянной, пусть и остроумной попыткой указать на их нереальность[122]. Спин, хоть и с трудом, но можно было представить, рассматривая электрон как маленькую луну: тогда спин можно ассоциировать с вращением электрона вокруг собственной оси. Но если электрон — бесконечно малая частица, он вряд ли мог вращаться в общепринятом смысле этого слова. Электрон — это и волна вероятности, и волна, которая отражается от стен ограничивающей камеры; как могут эти объекты *вращаться*? Каким образом спин возможно измерить в целых или дробных числах[123] (как в квантовой механике)? Физики стали считать

спин не вращением, а своего рода симметрией, способом математически подтвердить, что система может совершать определенные вращательные движения.

Спин был проблемным местом теории Фейнмана, описанной в его принстонской диссертации. В обычной механике величина действия не обладала таким свойством. Его теория оказалась бы бесполезной, если бы ее нельзя было применить к вращающемуся релятивистскому электрону Дирака. Среди препятствий, мешающих ему продвинуться дальше, проблема спина была главной. Неудивительно, что он повсюду замечал вращающиеся предметы — как ту тарелку в столовой с колебанием по траектории в долю секунды. Следующий шаг был характерным для Фейнмана: он свел проблему к схеме, к одномерной вселенной (или двухмерной, с пространством и временем). И в этой линейной вселенной частица могла иметь только одну траекторию движения — вперед и назад. Она носилась в двух противоположных направлениях, как безумный жук. Цель Фейнмана состояла в том, чтобы, начав с метода, открытого им еще в Принстоне, — суммирования всех возможных траекторий движения одной частицы, — выяснить, удастся ли ему вывести одномерное уравнение Дирака в этом одномерном мире. Вот что он написал:



Фейнман рассматривал траекторию, которую описывает частица в одномерной вселенной, то есть в условиях, где она вынуждена двигаться только вперед и назад и всегда со скоростью света. Он представил это движение в виде диаграммы, отметив на горизонтальной оси изменение пространства, а на вертикальной — изменение времени; течение времени изображалось как движение вверх. При помощи этой модели он выяснил, что может вывести центральное уравнение квантовой механики, сложив все траектории, которые имеет одна частица.

Геометрия уравнения Дирака. Первый аспект

Вероятность = квадрат суммы движений по каждой траектории.

Зигзагообразная траектория, частицы движутся со скоростью света.

Он добавил кое-что еще — простейшую схему подсчета этих зигзагов. Горизонтальная ось соответствовала измерениям в пространстве, вертикальная отображала время. Таким образом, у Фейнмана начала выстраиваться теория, применимая к одномерному пространству. Спин частиц подразумевал наличие фазы, подобной фазе волны, и Фейнман выдвинул несколько предположений (лишь отчасти произвольных) о том, что будет происходить с фазой каждый раз, когда частица делает зигзаг. Фаза была ключевым фактором в расчете суммы траекторий, потому что траектории либо компенсировали, либо усиливали друг друга в зависимости от наложения фаз (интерферировали). Фейнман не предпринимал попыток опубликовать этот фрагмент теории, хотя его обрадовал прогресс в расчетах. Теперь перед ним стояла задача применить эту теорию к пространству, имеющему более одного измерения, — иными словами, попытаться «развернуть» пространство. Но это у него пока не получалось, хоть он и проводил долгие часы в библиотеке, в кои-то веки штудируя старые математические труды.

Уменьшая бесконечность

Состояние фрустрации, которое испытывал Фейнман в первые послевоенные годы, отражало общее настроение, царившее в среде именитых физиков-теоретиков. Это было растущее чувство беспомощности, ощущение, что они потерпели поражение. Поначалу об этих настроениях не говорили открыто, потом ими стали делиться, но в пределах узкого сообщества. Публичная слава физиков никогда еще не была столь велика; остальное же оставалось невидимым миру.

Обычному человеку сложно понять причину этого состояния. Дело в том, что в своих расчетах ученые столкнулись с одной сложностью. По мере решения уравнения некоторые последовательные величины расходились, то есть увеличивались, хотя должны были уменьшаться по мере вычисления. Например, вычисление каждой новой цифры после запятой в массе электрона приводило к бесконечным величинам. С точки зрения физики казалось, что по мере приближения к электрону его заряд и масса увеличиваются. Но в результате ученые сталкивались с бесконечностями, с которыми Фейнман бился с самого Принстона. То есть квантовая механика позволяла вычислить уравнение в первом приближении, но дальше следовал сизифов труд. Чем больше физики старались повысить точность, тем менее точными становились их расчеты. Такие величины, как масса электрона, становились бесконечными (если теорию применяли к предельной массе). Сложно понять ужас, который испытали ученые; в популярных научных обзорах того периода об этом ничего не говорилось. Но тупик подстерегал физиков не только в теории; вскоре они столкнулись с проблемами и в практических расчетах. «Полагая, что знаю геометрию, — рассказывал Фейнман позднее, — я пытался высчитать диагональ квадрата со стороной 2,25 м. Но выяснилось, что не такой уж я эксперт, потому что в результате моих расчетов получалась бесконечность. Все было бессмысленно».

«Мы же не философией занимаемся, а свойствами реальных объектов. И вот в отчаянии я решил измерить диагональ вручную — и оказалось, что ее длина равна примерно 3,15 м — ни нулю, ни бесконечности. Вот так, вручную, мы вынуждены измерять величины, которые в результате применения нашей теории имеют абсурдные показатели»[124].

Но никто еще не изобрел рулетку для измерения электрона, и то, что первые, приблизительные вычисления совпадали с результатами, полученными в ходе лабораторных экспериментов,

было безусловной заслугой оригинальных теорий Гейзенберга, Шрёдингера и Дирака. Впрочем, вскоре ученым предстояло добиться гораздо большего.

Тем временем размышления о состоянии теоретической физики погружали ученых в настоящее уныние. После взрыва атомной бомбы они определенно упали духом.

«Последние восемнадцать лет *(время, прошедшее с начала стремительного зарождения квантовой механики)* стали самым бесплодным периодом за целый век развития физики», — говорил Исидор Айзек Раби коллеге за обедом весной 1947 года (хотя в то время его карьера процветала: он возглавлял продуктивную группу исследователей в Колумбийском университете).

«Физики-теоретики опозорились», — заявлял Мюррей Гелл-Манн[125], тогда еще студент-вундеркинд, подававший надежды.

«Теория элементарных частиц зашла в тупик, — писал Виктор Вайскопф. — Все прилагают усилия, но безуспешно, особенно после войны, и всем надоело “биться больной головой об одну и ту же стену”».

Казалось бы, что значат проблемы нескольких десятков человек, столкнувшихся с математическими сложностями? Но на деле это стало отражением глубочайшего кризиса целого поколения физиков-теоретиков. Ничего не менялось. Вайскопф тем временем готовился к необычному мероприятию. Бывший президент Нью-Йоркской академии Дункан Макиннес был убежден, что современные конференции становятся слишком громоздкими. На них съезжались сотни людей. Пытаясь удовлетворить интересы разномастной аудитории, лекторы выступали с обобщенными тезисами, не предлагая ничего конкретного и нового. В качестве эксперимента Макиннес предложил собрать мини-конференцию, пригласив на нее не более двадцати — тридцати гостей, и провести ее в уютной обстановке загородного отеля. Тему конференции определили как «Фундаментальные проблемы в квантовой механике». На организацию этого мероприятия Макиннесу понадобилось больше года. Наконец в начале июня 1947-го ему удалось собрать небольшую группу ученых в отеле «Баранья голова» на Шелтер-Айленде — островке, расположенном внутри «вилки», образованной двумя выступами Лонг-Айленда в его восточной части. Отель только что открылся на летний сезон. Вайскопфу поручили разработать повестку дня. Среди участников были Оппенгеймер, Бете, Уилер, Раби, Теллер и несколько представителей молодого поколения, в том числе Джулиан Швингер и Ричард Фейнман.

И вот двадцать физиков, облаченных в костюмы, встретились

воскресным вечером в нью-йоркском Ист-Сайде и сели на тарахтящий автобус, который повез их по Лонг-Айленду. По пути к ним присоединился полицейский эскорт, завыли сирены; чиновник местной торговой палаты устроил в их честь банкет (он служил на Тихоокеанском фронте и считал, что атомная бомба спасла ему жизнь). Затем на пароме они добрались до Шелтер-Айленда. Некоторые из присутствовавших отмечали какую-то нереальность происходящего. Собравшись за завтраком на следующее утро, они увидели на меню пометку «клиент с особыми запросами», быстро посчитали по головам и решили, что в этом зале, наверное, никогда не присутствовало столько евреев одновременно. Репортер нью-йоркской газеты *Gerald Tribune* писал в своем отчете: «Такой конференции мне еще не приходилось видеть… Они бродят по коридорам, бормоча под нос математические уравнения, и яростно обсуждают технические вопросы за обедом». Жители острова пришли в недоумение от внезапного десанта ученых людей. Все думали, что разрабатывается очередная атомная бомба; но эти домыслы были далеки от истины…

Квантовая механика — запредельный край науки, мир, где стирается грань между материей и энергией и реалии обычной жизни теряют смысл.

Глядя на это сборище, внимательные люди могли заметить, что двое самых молодых участников конференции — Швингер и Фейнман, — кажется, вынашивали новые идеи. Швингер эти три дня по большей части молчал. Фейнман продемонстрировал свой метод нескольким коллегам. Молодой нидерландский физик Абрахам Пайс ошеломленно наблюдал, как он со скоростью света производит расчеты, сопровождая их схематичными картинками. Утром заключительного дня конференции, после выступления Оппенгеймера, Фейнмана попросили в общих словах рассказать, чем он сейчас занимается, что он с радостью и сделал. Никто ничего не понял, но его выступление запомнилось. Как записал в дневнике один из слушателей, у него был «чистый голос, он очень много и быстро говорил и дополнял свои слова красноречивой жестикуляцией, порой весьма бурной».

Но главным событием конференции стали новости от экспериментальных лабораторий, и в первую очередь из «кузницы» Раби в Колумбийском университете. «Колумбийцы» отдавали предпочтение методам, казавшимся простыми и непримечательными в век ускорителей, хотя в их арсенале имелись и технологии, разработанные в Радиационной лаборатории во время войны, — магнетроны и микроволны. Уиллис Лэмб направил пучок микроволн на горящий газ в

водородной печи, пытаясь измерить точный уровень энергии электронов атома водорода. Ему это удалось — в спектроскопии еще никогда не получали столь впечатляющего результата. Он обнаружил существенную разницу между двумя уровнями энергии, которые должны быть одинаковыми, если исходить из самого достоверного среди существующих описаний атомов и электронов водорода — теории Дирака. Это случилось в апреле. Лэмб лег спать, размышляя о магнитах, регуляторах, пульсирующем пучке света гальванометра и явном расхождении его эксперимента с теорией Дирака, а на следующий день проснулся с мыслью о Нобелевской премии (и, как оказалось, не ошибся). Новость о явлении, впоследствии названном Лэмбовским сдвигом, стала известна большинству участников конференции на Шелтер-Айленде еще до того, как Лэмб самолично рассказал о ней в подробном докладе в первый же день. Присутствовавшие на лекции теоретики любили повторять известную истину: прогресс в науке происходит тогда, когда практика начинает противоречить теории. Вряд ли раньше встречалось столь чистое подтверждение этому высказыванию (обычно теория противоречила теории). Швингер, тоже слушавший ту лекцию, уяснил для себя главное: проблемой квантовой электродинамики была не бесконечность и не ноль, а величина, теперь уже известная, конечная и малая. Те, кто работал в Лос-Аламосе и Радиационной лаборатории, знали, что задача теоретической физики — обосновать эту величину. Остальные участники конференции, как показалось Швингеру, находились в состоянии нервной эйфории: «Факты доказывали невероятное: нам продемонстрировали, что священная теория Дирака трещит по швам». После конференции Швингер с Оппенгеймером улетели на гидроплане.

По словам одного из ученых, квантовая электродинамика потерпела фиаско — жестокая оценка для теории, которая смогла столь точно объяснить все, за исключением единственного сложного эксперимента. Но ведь физики знали, что бесконечность является главной и фатальной уязвимостью теории. Эксперимент дал им реальные величины, которые можно было просчитать, числа, определяющие точную степень несоответствий в описанном Дираком мире.

Дайсон

Осенью в Корнеллский университет прибыл Фримен Дайсон. Некоторым математикам из Корнелла были знакомы работы некоего британца Дайсона, но это имя едва ли могло считаться известным. В математике много вундеркиндов, однако никто не верил, что этот невысокий двадцатитрехлетний парнишка с ястребиным носом — тот самый Фримен Дайсон. И все же кое-кто из аспирантов считал его гением и загадкой. Он спал допоздна, приходил в кабинет с газетой, читал ее до обеда, а потом дремал весь день, закинув ноги на стол и прикрыв глаза. Изредка он заходил в кабинет Бете. Что они там делали, никто не знал.

Дайсон действительно был тогда одним из двух или трех талантливейших молодых математиков Англии. Сын высокообразованных англичан из среднего класса, он родился, когда его родители уже достигли среднего возраста (они не спешили вступать в брак). Его отец Джордж был композитором, дирижером и учителем музыки в колледже для мальчиков на юге Англии. Впоследствии он стал директором Королевского музыкального колледжа. Мать Дайсона Милдред выучилась на адвоката, но оставила практику. От нее Фримен унаследовал глубокую любовь к литературе, начиная с Чосера и поэтов Древней Греции и Рима. В шестилетнем возрасте он сидел, обложившись раскрытыми томами энциклопедии и погрузившись в вычисления, которыми было исписано множество листов. Уже тогда он полностью погружался в себя. Однажды старшая сестра прервала его занятия, спросив, куда подевалась их няня. Фримен ответил: «Полагаю, она где-то там, но определенно не здесь». Он прочитал популярную книгу по астрономии «Красота небес», научно-фантастические романы Жюля Верна, а в восемь или девять лет написал собственный фантастический роман — «Эролунарная коллизия сэра Филипа Робертса». Произведение отличалось зрелым ритмичным синтаксисом и по-взрослому непринужденной литературной манерой. Главный герой обладал способностями к арифметике и строил космические корабли. Фримен, не признававший коротких предложений, в пространных выражениях изобразил ученого, спокойно воспринимающего популярность, но вместе с тем одинокого в своей работе:

«Я, сэр Филип Робертс, и мой друг майор Форбс, — начинался роман, — только что разгадали важнейшую тайну природы: мы выяснили, что Эрос, маленькая планета, столь хорошо известная по причине своей близости к Земле, в последующие 10 лет и 287 дней подойдет к Земле на 3 миллиона

миль, в то время как обычно она проходит около нашей планеты раз в 37 лет на расстоянии 13 миллионов миль. Следовательно, существует высокая вероятность того, что Эрос попросту столкнется с Землей. Настоятельно рекомендую тщательно просчитать эту вероятность!»

Когда страсти немного улеглись и все разошлись по домам, волнение до конца не утихло. Напротив, все принялись просчитывать самые невероятные сценарии; какие-то из них были рациональными, а какие-то нет. Сэр Филип тем временем спокойно писал что-то в своем кабинете, разве что задерживаясь там чуть дольше обыкновенного. Никто не мог сказать, что у него на уме.

Затем Дайсон прочитал популярные книги об Эйнштейне и теории относительности. Вскоре он понял, что хочет знать больше, чем предусмотрено школьной программой, и выписал каталоги научных издательств. Наконец, мать заметила, что интерес сына к математике превращается в одержимость. Ему было пятнадцать лет, и он только что провел рождественские каникулы, методично, с шести утра до десяти вечера, решая семьсот примеров из учебника Пьяджо «Дифференциальные уравнения». В том же году, к своему разочарованию узнав, что классический учебник Виноградова по теории чисел не переведен на английский, он выучил русский и сам перевел этот труд, записав перевод своим аккуратным почерком. Рождественские каникулы близились к концу; мать пригласила его на прогулку и осторожно начала разговор со слов древнеримского драматурга Теренция: «Я человек, и ничто человеческое мне не чуждо». Она пересказала ему «Фауста» Гете, части первую и вторую, указав на то, что Фауст тоже был погружен в книги, жаждал знаний и власти и ради этого пожертвовал возможностью любить. Этот разговор произвел на Дайсона такое впечатление, что много лет спустя, посмотрев «Гражданина Кейна», он заплакал, узнав на экране того Фауста, о котором говорила мать.

Когда началась война, Дайсон поступил в Тринити-колледж Кембриджского университета. Его учителями стали величайшие английские математики: Харди, Литтлвуд и Безикович. В физике в то время господствовал Дирак. Судьбы Дайсона и Фейнмана в войну сложились по-разному. Британская армия не сумела разглядеть талантов Дайсона, и они остались без применения. Юного гения назначили в командный штаб бомбардировщиков Королевских ВВС в Букингемширском лесу, где он проводил статистические исследования; впрочем, полученные результаты игнорировались, если они противоречили официальному мнению властей. Бесполезность этого труда сильно угнетала его. Вместе с

другими сотрудниками отдела стратегических исследований он узнал, что вопреки бытующим в командном штабе стереотипам безопасность пилотов истребителей не возрастает по мере накопления ими опыта; что люки для катапультирования слишком узки, и пилоты не могут воспользоваться ими в экстремальной ситуации; что пулеметы замедляют движение самолета и увеличивают численность команды, не повышая шансы выжить в перестрелке с вражеским истребителем; что британская стратегия бомбардировок обречена на провал. Математика раз за разом опровергала правдивость «примеров из жизни», особенно когда эти примеры передавались из уст в уста и становились мифами, имеющими лишь одну цель — привлечь в пилоты молодежь.

Дайсон видел хаотичные следы от взрывов на снимках, сделанных после вылетов, видел, что немцам удается поддерживать работу заводов, в то время как гражданские районы лежат в руинах. Он работал под бомбежками в Гамбурге в 1943 году и Дрездене в 1945-м и чувствовал, что проваливается в нравственный ад. В Лос-Аламосе военная машина добилась впечатляющих результатов, собрав команду независимых ученых. Бюрократический аппарат, с которым пришлось столкнуться Дайсону, погряз в мелкой и крупной лжи, и ученым из командного штаба бомбардировок не удалось ему противостоять.

Это были темные времена, ознаменовавшие внедрение новых технологий, которые объединили науку и механизированное производство. Даровитая на изобретения Англия всегда относилась к новшествам с недоверием. Машины подрывали традиционный образ жизни, заменяя живую рабочую силу бездушным автоматизмом. На стыке веков в клубах черного дыма, окутывавшего английские промышленные города, в жестоких заводских условиях не было ничего романтичного; люди были склонны скорее идеализировать условия жизни крестьян, хотя те были не менее жесткими. В Америке тоже были свои луддиты, но в век радио, телефонов и автомобилей мало кто посчитал бы технологический прогресс пагубным. Американцы проникнутся ненавистью к технологиям лишь к концу XX века, но эта ненависть зародилась еще тогда, в атмосфере торжества 1945-го, и выросла из страха перед атомной бомбой. Среди книг, которые оказали большое влияние на Дайсона, была детская сказка под названием «Волшебный город», написанная в 1910 году Эдит Несбит. Мораль книги заключается в том, что технологии в ней преподносятся как нечто неоднозначное. Мальчик по имени Филип узнает, что в волшебном городе можно получить в свое распоряжение любой механизм, но при одном условии:

пользоваться им придется вечно. Поставленный перед выбором — взять лошадь или велосипед, — Филип поступает мудро и выбирает лошадь. Сказка была написана в те времена, когда мало кто отказывался обменять лошадей на велосипеды, автомобили и тракторы. Узнав об атомной бомбе, Дайсон вспомнил «Волшебный город» и подумал о том, что изобретенную новую технологию уже нельзя «разобрести» обратно. Тем не менее в жизни все не так однозначно, поэтому Дайсон в то же время разделял мнение Д. Г. Лоуренса, отмечавшего приятную чистоту и минималистичность объектов, произведенных машинным способом, будь то книги, стулья, бутылки или кованое изголовье кровати. «Мое желание обладать функциональным предметом, отвечающим моим требованиям, наконец удовлетворено… Поэтому я склоняю голову перед машиной и ее изобретателем». Новость о Хиросиме отчасти стала облегчением для Дайсона. Война для него закончилась. Но он не забыл о том, что в результате стратегических бомбардировок погибло вчетверо больше мирных людей, чем при взрыве атомных бомб. Спустя много лет, когда у него родился сын, он разбудил ребенка среди ночи своим криком, проснувшись от нестерпимого кошмара. Ему снилось, что перед ним горит разбившийся самолет. Рядом стояли люди; некоторые бросались в огонь, пытаясь спасти выживших. Во сне Дайсон не мог пошевелиться, оцепенев от ужаса.

Окружающим Фримен порой казался застенчивым и скрытным, но его учителя в Англии вскоре поняли, что юноша просто блестяще владеет собой. В старших классах он занимался теорией натуральных чисел. В частности, работал над разбиением — так в математике называется способ представить число в виде суммы натуральных слагаемых: например, разбиение числа 4 — это 1 + 1 + 1 + 1, 1 + 1 + 2, 1 + 3, 2 + 2 и 4. Число разбиений быстро возрастает — у числа 14 их уже 135, — и скорость этого возрастания легко определить, используя принципы классической теории чисел. Здесь нет ничего сложного. Первые несколько рядов может просчитать даже ребенок. Размышление над этой теорией открывает перед исследователем великолепный мир, сложный и прекрасный, как оригами. Дайсон пошел по стопам индийского математика-вундеркинда начала XX века Шриванасы Рамануджана. На втором курсе Кембриджского университета Дайсон вывел несколько гипотез о разбиениях, доказать которые не смог. Но вместо того чтобы прекратить попытки, обратил неудачу себе во благо: публикация этих наработок стала его вторым научным трудом. «Используя алгебраические тождества, профессор Литтлвуд никогда не утруждается их доказывать, —

писал он об одном из своих знаменитых профессоров. — По его мнению, если найдется человек настолько недалекий, что ему потребуются доказательства верности тождества, это можно будет сделать в нескольких строках. Моя цель — опровергнуть данное убеждение». Дайсон пообещал привести любопытные примеры тождеств, доказать которые ему не удалось. Он также заявлял, что «есть случаи еще более туманные — существование тождеств, которые невозможно не просто доказать, но даже привести… Стоит ли говорить, что я призываю читателей предоставить недостающие доказательства, а еще лучше — недостающие тождества». Дайсон никогда не любил скучных математических диспутов.

Однажды ассистент Дирака сказал Дайсону: «Я ухожу из физики в математику; физика слишком запутана, абстрактна, неуловима». На что Дайсон ответил: «Я ухожу из математики в физику по тем же причинам». Математика казалась ему предметом любопытным, но реальный мир был еще любопытнее. А самым подходящим местом для занятий физикой представлялись Соединенные Штаты. Он никогда не слышал о Корнеллском университете, но ему сказали, что из всех физиков мира лучше всего работать с Бете. А Бете находился в Корнелле.

Дайсон отправился в незнакомую страну с настроем первооткрывателя, готовый встретиться лицом к лицу и с флорой, и с фауной, и с потенциально опасными аборигенами. В Америке он впервые сыграл в покер. Узнал, что такое пикник по-американски: к его изумлению, для американцев это означало приготовление стейков на гриле под открытым небом. Ездил на автомобильные прогулки. «Мы были в диких местах», — писал он родителям вскоре после приезда, имея в виду отрезок пригородной трассы между Итакой и Рочестером. Его компаньоном в путешествиях стал физик-теоретик по имени Ричард Фейнман, «первый встреченный мной представитель редкого вида — ученого, родившегося на американской земле».

«Он разработал свою версию квантовой теории, — писал Дайсон. — Этот человек всегда полон новых идей; большинство из них блестящи, но не имеют практического применения, и почти всегда одно озарение вскоре сменяется другим… Когда он врывается в кабинет и начинает рассказывать об очередной гипотезе, сопровождая свою речь невероятными звуковыми эффектами и размахивая руками, жизнь определенно не кажется скучной».

Хотя формально Дайсон был простым аспирантом, его первым заданием стало исследование актуальной проблемы: Бете, только что вернувшийся с Шелтер-Айленда, поручил ему

просчитать вариант Лэмбовского сдвига. Сам Бете уже сделал первый шаг к решению теоретической задачи, поставленной экспериментом Лэмба. Возвращаясь в поезде с конференции, он наспех набросал на клочке бумаги предварительные расчеты, которые вскоре заставили десяток его коллег вздохнуть: «Ну почему мы до этого не додумались?». Когда поезд прибыл в Скенектади, он позвонил Фейнману и попросил его проследить, чтобы эти расчеты попали в руки Оппенгеймеру и прочим присутствовавшим на конференции в течение недели. Это были весьма приблизительные вычисления, подобные тем, что они делали в Лос-Аламосе; в них не учитывались релятивистские эффекты и исключались бесконечности. Впоследствии на смену открытию Бете пришли более строгие расчеты в духе тех, что делал Швингер. Тем не менее Бете первым нашел верное число, почти попал в точку, и физики укрепились в убеждении, что в квантовой электродинамике возможны новые точные эксперименты.

Существующая теория объясняла наличие различных энергетических уровней внутри атома и предоставляла физикам действенный инструмент для их вычисления. Разница величин возникала из-за разных комбинаций квантовых чисел, углового момента электрона, вращающегося вокруг ядра, и углового момента электрона, вращающегося вокруг своей оси. Встроенная в уравнение симметрия приводила к точному совпадению пары величин, обозначающих высчитанные таким способом энергетические уровни. Но в лаборатории Уиллиса Лэмба эти величины не совпали, а значит, ученые что-то упустили из виду. Бете предположил, что этим «чем-то» был давний враг физиков-теоретиков, то, чего все боялись, — самодействие электрона.

Эта дополнительная энергия или масса возникала в результате взаимодействия электрона с собственным полем — процесса, напоминающего проглатывание змеей своего хвоста. Данная величина была всего лишь некой досадной помехой, когда теоретически равнялась бесконечности и незначительно проявлялась на практике. Но сейчас, когда она, оставаясь бесконечной в теории, реально обнаруживалась в эксперименте, игнорировать ее было нельзя. Бете все время держал в уме предположение, выдвинутое на Шелтер-Айленде нидерландским физиком Хендриком Крамерсом: «наблюдаемую» массу электрона (ту, которую теоретики считали его фундаментальным свойством) следует считать комбинацией двух других свойств — собственной энергии и «собственной» массы. Странной парочкой были эти массы — собственная и «наблюдаемая», известные также как «голая» и «одетая». Собственную массу нельзя было измерить

напрямую, а наблюдаемую невозможно высчитать на основе базовых принципов. Крамерс предложил метод, позволивший теоретикам вывести число из экспериментальных измерений и «выправить» его, совершить «перенормировку». Бете это удалось — грубо, но эффективно. Между тем с изменением массы менялся и заряд — величина, которую также считали абсолютной. Поэтому и ее пришлось подвергнуть перенормировке, то есть запустить процесс изменения условий уравнения, в ходе которого бесконечные величины становятся конечными. Этот процесс похож на рассмотрение крупного объекта через регулируемую линзу; когда мы поворачиваем регулятор, объект уменьшается, но вместе с тем становится понятно, какой эффект регулировка оказывает на другие объекты, в том числе и сам регулятор. Такая работа требовала большой осторожности.

С одной стороны, перенормировку можно охарактеризовать как вычитание бесконечности из бесконечности с тайной надеждой получить что-то иное. С точки зрения логики подобное действие бессмысленно: бесконечность (последовательность целых чисел — 0, 1, 2, 3…) минус бесконечность (последовательность четных целых чисел — 0, 2, 4…) равняется бесконечности (последовательности нечетных целых чисел — 1, 3, 5…). Они одинаковы, в отличие, к примеру, от существенно более обширной бесконечности, включающей натуральные числа. Физики-теоретики в глубине души уповали на то, что стоит им написать «бесконечность минус бесконечность = ноль», природа чудесным образом вмешается и сделает это правдой, хотя бы раз. Оправдание их надежд означало бы, что они сделали важное открытие о мире. Вот только пока было неясно, какое именно.

Бете поручил Дайсону просчитать простой, «игрушечный» вариант Лэмбовского сдвига — для электрона без спина. Таким образом Дайсон смог бы найти быстрое решение актуальной проблемы, а Бете — продолжить свои изыскания. Дайсон видел, что расчеты, опубликованные Бете, были аферой, но аферой гениальной — очень грубое приближение, каким-то образом попавшее в точку. Он все чаще общался с Фейнманом, который постепенно перестал казаться ему представителем экзотического вида. Обедая у Бете, он наблюдал за тем, как дикий американец вскакивает из-за стола, чтобы поиграть с Генри, пятилетним сыном хозяина дома. Фейнман обожал детей своих друзей. Он развлекал их, болтая на тарабарском языке, жонглировал, изображал различные музыкальные инструменты, как человек-оркестр. Мог заворожить их одним простым действием: брал у кого-нибудь очки и медленно надевал их, а потом снимал и снова надевал. Или просто беседовал с ними. Как-то раз он спросил

у Генри:

— Знаешь, что на каждое число есть другое число, вдвое больше?

— Неправда! — воскликнул Генри.

Фейнман ответил, что может это доказать.

— Назови число.

— Миллион!

— Два миллиона, — ответил Фейнман.

— Двадцать семь!

— Пятьдесят четыре, — ответил Фейнман, и так продолжалось до тех пор, пока Генри не уловил суть. Это было первым знакомством ребенка с понятием бесконечности.

Некоторое время, поскольку Фейнман не воспринимал свою работу всерьез, Дайсон относился к ней столь же несерьезно. В письмах родителям он называл Фейнмана «не то гением, не то шутом» (и впоследствии жалел об этих словах). Через несколько дней Дайсон услышал рассказ наведавшегося в Корнелл Вайскопфа об исследованиях Швингера в Гарварде. Он уловил связь между работой Швингера и тем, что говорил Фейнман, хотя последний оперировал совсем другими понятиями. За вспышками и необузданностью Фейнмана он начал замечать наличие метода. И в следующем письме родителям заговорил уже иначе:

«Фейнман — человек, чьи идеи понять столь же трудно, сколь легко понять идеи Бете. По этой причине до сих пор я гораздо большему учился у Бете, чем у него. Но, мне кажется, если я задержусь здесь подольше, то буду работать именно с Фейнманом».

Смутная картинка

Физикам казалось, что их трудности чисто математические: все эти бесконечности, расхождения, формальный подход. Но было еще одно скрытое препятствие, которое редко всплывало в опубликованных работах и устных обсуждениях, — невозможность визуализации. Разве возможно представить атом или электрон в момент излучения им света? Каким должен быть мысленный образ, способный помочь ученому, направив его размышления по верному пути? Первые квантовые парадоксы заставили физиков усомниться в своей способности к интуитивному пониманию, в своей интуиции вообще, и к началу 1940-х годов они почти перестали говорить о визуализации. Казалось, эта проблема больше из области психологии, чем физики.

Визуализация атома по Нильсу Бору — атом, представленный в виде миниатюрной Солнечной системы, — была отвергнута как не соответствующая истине. В 1923 году, на десятую годовщину разработки этой концепции, немецкий квантовый физик Макс Борн восхвалял ее: «Идея о том, что законы микрокосма отражают происходящее в большом мире, видится человеческому уму истинным волшебством». Но уже тогда Борн и его коллеги понимали, что модель Бора — анахронизм. Она выстояла, когда открыли угловой момент и спин, ее включили в стандартную программу по физике и химии для старших классов, но картинка электронов, вращающихся вокруг ядра, больше не соответствовала действительности. На смену ей пришли волны с резонансными модами[126], вероятностно рассеянные частицы, операторы и матрицы, изменчивые пространства с дополнительными измерениями. Настал момент, когда физики решили полностью отказаться от идеи визуализации. Тон задал сам Бор. На вручении Нобелевской премии за свою модель атома он сказал, что пора отказаться от надежды описать атомную модель путем проведения аналогий с повседневными понятиями. «Мы должны умерить наши требования и довольствоваться формальными концепциями — формальными в том смысле, что они не снабжены визуальной информацией, привычной картинкой…» Такая смена позиции породила немало трений. «Чем больше я размышляю над физической стороной теории Шрёдингера, тем более отталкивающей ее нахожу, — заметил Гейзенберг в 1926 году в разговоре с Паули. — Попробуйте представить вращающийся электрон, чей заряд распространяется в пространстве по осям в четырех-пяти измерениях. То, что

Шрёдингер пишет о возможности визуализировать его теорию… я считаю бредом». Как бы высоко ни ценился среди физиков навык концептуализации, который они называли интуицией, сколько бы ни говорилось о разнице физического и формального понимания, вывод напрашивался сам собой: не стоит доверять изображениям субатомной реальности, списанным с земного, повседневного опыта. Бейсбольные мячи, артиллерийские снаряды, планетоиды — квантовые физики-теоретики отвергли все эти модели, отказались от визуализации в виде колесиков и волнистых линий. Отец Фейнмана как-то спросил его (впоследствии Ричард много раз пересказывал эту историю): «Когда атом переходит из одного состояния в другое, он излучает частицу света, называемую фотоном. Это понятно. Фотон в атоме опережает время? Если да, то откуда он берется? Как излучается?» Ни у кого не было картинки, иллюстрирующей это явление — излучение света, взаимодействие материи и электромагнитного поля. А ведь оно было определяющим для квантовой электродинамики.

Вместо картинки возникла бездна — бурлящая, живая, полная вероятностей; неспокойный вакуум новой физики. Некоторые физики, не в силах подобрать даже приблизительный визуальный аналог происходящего в квантовом мире, обратились к новому виду философствования — парадоксальным мысленным экспериментам и спорам о реальности, сознании, причинности и измерении. К концу 1920-х годов эти споры стали неотъемлемым атрибутом интеллектуальной среды; они были провокационными и неразрешимыми и следовали за физикой, как облако пыли за автоколонной. Опубликованная в 1935 году работа Эйнштейна, Подольского и Розена — та самая, благодаря которой у семнадцатилетнего Швингера появился шанс произвести впечатление на Раби, — стала тому ярчайшим свидетельством. В ней приводились примеры двух квантовых систем — возможно, атомов, — связанных в прошлом взаимодействием частиц, но в данный момент разделенных большим расстоянием. Авторы показывали, что простое измерение одного атома из пары повлияет на результаты измерения второго, причем эффект будет мгновенным — быстрее света, то есть, по сути, ретроактивным. Эйнштейн считал, что это компрометирует законы квантовой механики. Бор и более молодые теоретики были настроены более оптимистично, отмечая, что Эйнштейн уже отнес представления о прошлом и о расстоянии в категорию понятий, о которых нельзя говорить с полной определенностью, в классическом духе. В том же ключе была выдержана теория о знаменитом коте Шрёдингера: бедное гипотетическое животное сидело в ящике с детектором, присоединенным к пузырьку с ядовитым газом, и его судьба,

таким образом, зависела все от того же квантово-механического явления — излучения фотона атомом. Шрёдингер утверждал, что, несмотря на бойкие вероятностные расчеты ученых — в пятидесяти процентах случаев «да», в пятидесяти «нет», — они по-прежнему не могли визуализировать кота иначе как живым или мертвым.

Со временем физики неохотно примирились с тем, что неспособны выстроить однозначную ментальную модель событий, происходящих в микромире. Используя слова «волна» или «частица» — а использовать оба этих слова приходилось, — они сопровождали их молчаливыми кавычками, словно подразумевая: на самом деле это никакая не *волна* и не *частица*. В результате все признали, что отношение ученых-физиков к действительности изменилось. Больше невозможно было предполагать, что существует единственная реальность и что ум человека способен рационально и четко ее осмыслить, а ученый — объяснить. Стало ясно: продукт работы исследователя — теория или модель — рассматривает и интерпретирует опыт способом, который никогда не дает окончательного ответа. Ученые полагались на модели, как человек, пытающийся сориентироваться в темной комнате, опирается на почерпнутый из памяти визуальный образ. Физики начали открыто говорить о том, что создают некий язык — как будто они были не исследователями, а литературными критиками. «Не стоит считать, что задача физики — выявить законы природы, — говорил Бор. — Физика касается лишь того, что можно *сказать* о природе». И это всегда было так, но на сей раз природа утерла ученым нос.

Однако в конечном счете почти никому из физиков не удалось полностью отказаться от визуализации. Образы были им необходимы. Прагматичные теоретики ценили образ мышления, основанный на в*и*дении и чувствовании. Они называли его *физической интуицией*. Фейнман сказал Дайсону (и тот с ним согласился), что именно благодаря физической интуиции появились великие работы Эйнштейна. Период величия для Эйнштейна закончился, когда тот «перестал мыслить конкретными физическими образами и начал манипулировать уравнениями». Интуиция задействовала не только визуальный, но и слуховой, и кинестетический каналы. Те, кто видел Фейнмана в минуты предельной концентрации, рассказывали о сильном, даже тревожном воздействии этого процесса как физического: создавалось впечатление, что его мозг не ограничивался серым веществом, а заставлял работать все мышцы тела. Сосед Фейнмана по Корнеллскому общежитию как-то открыл дверь и увидел, что Ричард катается по полу рядом с кроватью: так он

решал задачу. А когда не катался, то как минимум ритмично бормотал себе под нос или отбивал барабанную дробь кончиками пальцев. В ходе научной визуализации человек часто помещает себя внутрь природной среды: в воображаемый луч света, в релятивистский электрон. Как писал историк науки Джеральд Холтон, это процесс, в котором «карта ума… и законы природы накладываются друг на друга». Для Фейнмана элементы в природе взаимодействовали в ощутимом, меняющемся, порхающем ритме.

Он и сам об этом задумывался; как-то раз даже выписал фрагмент стихотворения Набокова (хотя литература и поэзия совсем его не интересовали): «Пространство — мельтешение в глазах; а время — пение в ушах».

— Вот вы все время твердите о визуализации, — заметил он в разговоре с историком Сильваном Швебером, который брал у него интервью. — Я пытаюсь привнести ясность, но рождается лишь смутная картинка, которая с трудом поддается осмыслению и визуализируется лишь наполовину. Мне представляются дрожащие траектории и извилистые линии. Даже сейчас, рассуждая о функционале влияния[127], я вижу слияние и собираю образы, словно вещи в мешок, а затем пытаюсь их развить. Я могу их представить, но не могу описать.

— Можно ли сказать, что вы видите решение? — спросил Швебер.

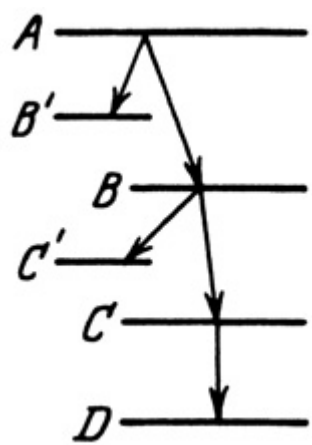
— Скорее лишь его очертания. Пожалуй, такой метод визуализации является интуитивным. Как правило, я пытаюсь представить картинку настолько четкой, насколько это возможно, но иногда могу пойти математическим путем, так как он оказывается более эффективным. Однако при решении некоторых задач я сталкиваюсь с необходимостью задействовать воображение; тогда я обращаюсь к этому методу, прежде чем перейти к математическим расчетам.

Главной сложностью стала визуализация понятия «поле». Однажды Фейнман сказал студентам: «У меня нет подходящего образа для электромагнитного поля, с помощью которого вы могли бы представить суть этого понятия». Пытаясь проанализировать собственный способ визуализировать то, что не поддается воображению, он выяснил нечто странное. Математические символы, которые он использовал каждый день, переплелись с его физическими ощущениями движения, давления, ускорения. Фейнман наделял абстрактные символы физическим смыслом даже тогда, когда он пытался управлять своей необузданной физической интуицией и оперировать этими символами, применяя свои знания.

«Описывая магнитное поле, движущееся в пространстве, я говорю о **E**- и **B**-полях и размахиваю руками, поэтому вам может показаться, что я действительно их вижу. Но на самом деле я вижу некие смутные, темные, дрожащие линии, кое-где снабженные стрелочками, исчезающими, если приглядеться внимательнее… Тогда я начинаю путать символы, которые использую для описания объектов, и сами объекты».

И все же Фейнман не мог ограничиться одним лишь математическим методом. В математике поле представляло собой совокупность чисел, каждое из которых было связано с определенной точкой в пространстве. «Это невозможно вообразить», — признался он студентам.

Визуализация необязательно подразумевала построение диаграмм. Как сложное, интуитивное, кинестетическое понимание физики не всегда можно было передать с помощью фигур, составленных из палочек, так и диаграмма не всегда отражала физическую реальность. Визуализация могла иметь форму таблицы или картинки-подсказки. К тому же в квантовой физике диаграммы использовали редко. Правда, был один типичный пример — «лесенка» из горизонтальных линий, изображающая энергетические уровни атома:



Квантовый скачок, визуализированный в виде лесенки

Квантовый скачок (переход) вниз с одного энергетического уровня на другой сопровождается излучением фотона; поглощение фотона приводит к скачку на верхний уровень (согласно постулатам Бора). На подобных диаграммах фотоны не отображались вовсе, как и на других, еще более неудачных схемах того же процесса[128].

Фейнман никогда не использовал такие диаграммы, но часто заполнял страницы своих тетрадей рисунками, напоминающими

о пространственно-временных траекториях, которые были столь важной частью его принстонской работы с Уилером. Путь электрона на его рисунках изображался прямой линией, которая шла через всю страницу, символизируя движение в пространстве (горизонталь) и во времени (вертикаль). Поначалу Фейнман, как и другие, не отображал излучение фотона; это явление передавалось на картинке как отклонение электрона от намеченной траектории. Такой подход отражал выбранный ученым способ визуализации процесса: Фейнман по-прежнему воспринимал взаимодействие электронов с электромагнитным полем как взаимодействие именно с *полем*, а не со скоплением частиц — фотонов.

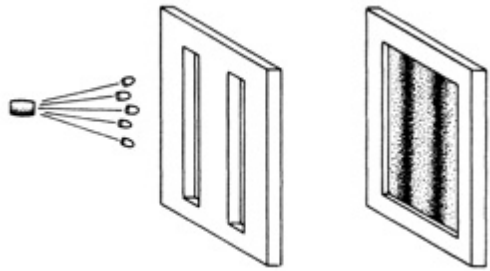
В середине 1947 года после длительных уговоров и даже угроз друзья Фейнмана убедили его опубликовать идеи, о которых он беспрестанно им твердил. Когда публикация наконец увидела свет, диаграмм в ней не было. Новый труд, в основу которого легла частично переработанная дипломная работа, свидетельствовал о том, что фейнмановское понимание проблем квантовой электродинамики стало более зрелым и глубоким. Он объяснял постулаты своей новой теории с беззастенчивой простотой. Для многих физиков эти идеи стали самыми влиятельными из всех, когда-либо опубликованных Фейнманом.

Он утверждал, что разработал альтернативную формулировку квантовой механики в дополнение к тем, что двадцатью годами ранее представили Шрёдингер и Гейзенберг. Он определил понятие *амплитуды вероятности для пространственно-временной траектории*. В классической механике физики просто складывали вероятности. Например, в бейсболе процент шансов перехода беттера на первую базу считается так: тридцать процентов вероятности попадания по мячу плюс десять процентов вероятности перемещения на базу за болы (четыре неточные подачи питчера подряд) плюс пятипроцентная возможность ошибки. В мире квантовой механики вероятности выражались в виде комплексных чисел[129], чисел с модулем и фазой, и рассчитывались из квадрата амплитуд. Эта математическая процедура была необходима, чтобы выявить свойство частиц вести себя как волны. Волнам свойственна интерференция. Они могут усиливать или гасить друг друга в зависимости от того, как накладываются их фазы. Свет, соединяясь со светом, может порождать тьму, чередующуюся с яркими полосами, — подобно глубоким бороздам и высоким гребням, образуемым волнами на поверхности озера.

Фейнман описал то, с чем его читатели уже были знакомы, — канонический эксперимент квантовой механики, так называемый

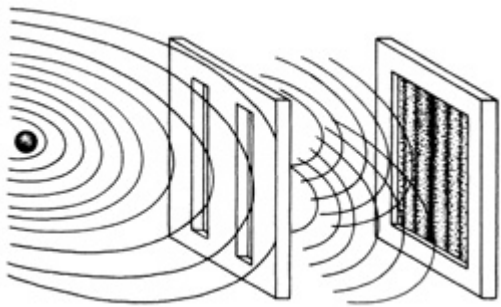
эксперимент с двумя щелями, который для Нильса Бора стал иллюстрацией неизбежного парадокса корпускулярно-волнового дуализма. К примеру, поток электронов проходит сквозь две прорези в экране. С противоположной стороны их поступление фиксирует детектор. Достаточно чувствительный прибор способен фиксировать перемещения электронов в виде полета множества пуль; он может быть настроен так, чтобы производить щелчки, подобно счетчику Гейгера. Однако возникающая картина демонстрирует другое пространственное явление: вероятность найти электрон в той или иной точке детектора определяется дифракционной картиной, а точнее — результатом интерференции «электронных» волн, прошедших через щели. Так что же такое электрон — частица или волна? Решением этого парадокса в квантовой механике стал неизбежный вывод: каждый электрон каким-то образом «видит» *обе* прорези и проходит через них одновременно. В классическом же представлении частица должна проходить только через одну из двух щелей. Однако в процессе эксперимента, когда прорези поочередно закрывали, пропуская поток электронов сначала через щель A, а затем через щель B, интерференции не происходило. Делались попытки «поймать» частицу в момент ее прохождения через одну из щелей, разместив детектор рядом с прорезью, но, казалось, само присутствие детектора разрушало возникавший ранее рисунок.

До сих пор амплитуда вероятности отражала возможность прибытия частицы в определенное место в определенное время. У Фейнмана она стала соответствовать «всему циклу движения частицы», то есть ее пути целиком. Он сформулировал центральный принцип своей квантовой механики: «Вероятность процесса, который может происходить несколькими различными способами, пропорциональна квадрату суммы комплексных вкладов всех альтернативных путей». Эти комплексные числа, эти амплитуды, прежде записывались в терминах классического действия; Фейнман показал, как рассчитать действие для каждой траектории в виде определенного интеграла. И доказал, что этот необычный подход является математическим эквивалентом стандартной волновой функции Шрёдингера, хоть и сильно отличается от нее по духу.

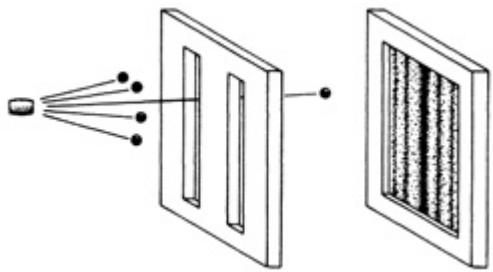


Главная загадка квантовой механики — та, к которой в итоге сводятся все остальные.

Подчиняясь классическим законам механики, оружие, производя выстрел, выпускает пули. Но на пути к цели они сначала должны пройти сквозь экран с двумя щелями. Траектория их движения показывает, что вероятность попадания в цель зависит от места их прохождения. Наиболее вероятно попадание в цель позади одной из прорезей. Вероятность этого равна сумме вероятностей для каждой щели: если бы половину пуль выпустили с открытой левой щелью, а половину — с открытой правой, результат был бы одинаковым.



Но когда мы имеем дело с волнами, результат существенно отличается. Если открывать щели по очереди, путь волн будет похож на траекторию пуль: мы увидим два отчетливых пика. Но если обе щели открыты, волны проходят через них одновременно, и происходит интерференция; при совпадении фаз волны усиливают друг друга, при несовпадении — гасят.



Итак, мы подошли к квантовому парадоксу. Подобно пулям, частицы «выстреливают» в цель каждая по отдельности, но при этом они, как и волны, подвержены интерференции. Если каждая частица проходит через щель по своему индивидуальному пути, что вызывает интерференцию? Хотя электрон и достигает цели в определенной точке в пространстве и времени, оказывается, что каким-то образом он проходит через обе щели, или, если хотите, «ощущает присутствие» в обеих щелях одновременно.

Фейнман не печатался в Physical Review уже более десяти лет — с тех пор, как опубликовал свою дипломную работу. К его огорчению, редакция отказалась печатать этот новый труд. Бете помог ему кое-что переписать, показал, как разделить для читателя старое и новое, после чего Фейнман отправил работу в журнал «Обзоры современной физики» (Reviews of Modern Physics), специализирующийся на ретроспективных исследованиях. Она вышла весной под заголовком «Пространственно-временной подход в нерелятивистской квантовой механике» (Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics). Фейнман открыто признавал, что его формулировка квантовой механики не представляет собой ничего нового с точки зрения результатов, но при этом объяснял, в чем состоит достоинство его труда: «Есть ни с чем не сравнимое удовольствие в том, чтобы рассматривать давно известное с новой точки зрения. Кроме того, существуют задачи, решать которые новым способом гораздо удобнее». (Например, при расчете взаимодействия частиц можно избежать трудоемких расчетов с использованием двух различных систем координат.) Читатели — поначалу их были единицы — не обнаружили в его работе замысловатой математики, увидев в ней всего лишь попытку немного иначе взглянуть на известную проблему: ее основа была взята из чистой классической механики и пропущена через призму физической интуиции.

Но были и те, кто сразу распознал потенциал фейнмановских идей, например польский математик Марк Кац. Он слышал лекции Фейнмана об интегралах по траекториям в Корнелле и сразу же заметил сходство его рассуждений с теорией вероятности. Кац в то время пытался развить исследования Норберта Винера по броуновскому движению — хаотичному, беспорядочному движению атомов в процессе диффузии, которое так занимало Фейнмана в ходе его теоретических изысканий в Лос-Аламосе. Винер тоже создал интегралы, суммирующие множество вероятных путей частицы, но в его теории было одно

существенное отличие — то, как он рассматривал время. Через несколько дней после выступления Фейнмана Кац разработал новую формулу, получившую название формулы Фейнмана — Каца. Впоследствии она станет одним из самых часто используемых математических инструментов, установивших связь между применением теории вероятности и квантовой механикой. А польский математик будет считать, что его знают прежде всего как «Каца из формулы Фейнмана — Каца»: это открытие затмит все остальные в его карьере.

Фейнмановские интегралы по траекториям — эти суммы траекторий — казались странными даже физикам, привыкшим к теориям со сложным философским смыслом. Они создавали вселенную, где учитывались все потенциальные возможности, где ничего не оставалось скрытым и признавалась каждая вероятность. Фейнман объяснил свою концепцию Дайсону:

«Электрон делает все, что ему вздумается, движется в любом направлении с любой скоростью, вперед или назад во времени — как ему захочется. А потом ты просто складываешь амплитуды и получаешь волновую функцию».

Дайсон с улыбкой ответил, что Фейнман сошел с ума. Но Фейнман интуитивно уловил самую суть эксперимента с двумя щелями, в котором электрон «осознавал» все вероятности.

Попытка Фейнмана познать природу с помощью интеграла по траекториям, его понятие «суммы историй» представляли собой переосмысление принципов наименьшего действия и наименьшего времени. Фейнману казалось, что он открыл глубинные законы, благодаря которым много веков назад возникли принципы механики и оптики, открытые Христианом Гюйгенсом, Пьером де Ферма и Жозефом Луи Лагранжем. Откуда брошенный мяч знает, что должен описать именно эту дугу, максимально сократив действие? Откуда лучу света известно, что он должен выбрать траекторию, сводящую к минимуму время распространения? В ответ на эти вопросы Фейнман представил теорию, которая служила для осмысления не только новых тайн квантовой механики, но и обманчиво невинных задачек, с которыми сталкивается любой начинающий студент-физик. Проходя через воду, свет преломляется под точным углом. От поверхности зеркала он отскакивает, как бильярдный шар. Кажется, что свет движется по прямой. Этот путь — путь наименьшего времени — особенно примечателен, потому что отражает ситуацию, когда вклады соседних траекторий почти совпадают по фазе и потому усиливают друг друга. Но на краю зеркала — вдали от пути наименьшего времени — траектории обнуляются. При этом свет проходит всеми возможными путями.

Фейнман показал это; он доказал, что траектории, которые на первый взгляд кажутся несущественными, всегда присутствуют в общей картине, затаившись где-то на заднем плане; их вклады не проходят незамеченными, они готовы заявить о себе в любой момент такими явлениями, как миражи и дифракционная решетка.

Студентов, изучающих оптику, в то время учили альтернативному объяснению этих явлений, представляя свет волной, подобной тем, что образуются в воздухе и воде. Фейнман категорически отмел эту точку зрения. Волнообразность — внутреннее свойство фазы, которой обладает амплитуда. Когда-то давно, вместе с Уилером, Фейнман мечтал вовсе исключить из рассуждений поле. Это оказалось невозможным. Поле прочно укоренилось в сознании физиков. Без него было не обойтись; более того, число полей постоянно множилось. Появление новых частиц, например мезонов, означало возникновение нового поля — словно дополнительного слоя прозрачного пластика; частица была его квантованным проявлением. И все же теория Фейнмана сохранила признаки своего первоначального скелета, хотя от самого скелета он давно отказался. Ее «действующими лицами» снова были частицы, и на этот раз их роль вырисовывалась более отчетливо. Это привлекло к ней внимание физиков, ищущих опору в визуализации, потерявшихся в мире мыслительных экспериментов, где все больше властвовали облачные следы, номенклатуры и поведение частиц.

Слава Швингера

Интегралы по траекториям Фейнмана были частью разрозненного арсенала идей и методов, которые были им накоплены, но не сведены в единую систему. Это была его личная, «частная» физика. В своих исследованиях он часто полагался на догадки или, по его собственному выражению, «полуэмпирические шалости». Его интересовал лишь результат, методы же представляли собой бессвязную мешанину; он с трудом мог объяснить и тем более обосновать свои выводы даже самым своим сочувствующим слушателям — Бете и Дайсону. Осенью 1947 года Фейнман посетил публичную лекцию Бете, в которой тот описывал свой подход к Лэмбовскому сдвигу. В заключение Бете подчеркнул необходимость разработать более надежный способ сделать теорию конечной — способ, который не противоречил бы теории относительности. Тут Фейнман понял, что сможет сделать необходимые вычисления и внести исправления. Он пообещал Бете к утру дать ответ.

Но к утру он понял, что не располагает достаточной информацией о том, как Бете вычислил самоэнергию электрона, и поэтому не может перевести свои наработки на нормальный язык физики. Они вместе постояли у доски: Бете объяснил свои расчеты, Фейнман попытался изложить свой метод, но в ответе, который получился в итоге, обнаружились не скромные, как у Бете, а чудовищные расхождения. Вместе с тем, размышляя о проблеме с физической точки зрения, Фейнман был убежден, что расхождений не будет.

В последующие дни он вспомнил все, что знал о самоэнергии. Переписав свои уравнения с учетом наблюдаемой, «одетой», массы электрона вместо «голой», он выяснил, что решение, как он и думал, будет конечным. Тем временем Итаки достигла новость (ее принесли Вайскопф и Бете) о прорыве, сделанном Швингером в Кембридже. К тому моменту, когда в конце осени стало известно, что Швингер сумел рассчитать магнитный момент электрона — еще одну маленькую экспериментальную аномалию, недавно обнаруженную в лаборатории Раби, — Фейнман уже успел сделать то же самое. Сложные вычисления Швингера убедили ведущих физиков в том, что теория не зашла в тупик. «Господь велик!» — писал Раби Бете со свойственным ему сарказмом. А Бете отвечал: «Поистине замечательно, что твои эксперименты позволили взглянуть на теорию под совершенно новым углом; за относительно короткое время она стала развиваться. Я испытываю такое же волнение, как в дни

зарождения квантовой механики».

Фейнман испытывал растущее чувство соперничества по отношению к Швингеру, и его это все больше раздражало. Ему казалось, что у него есть своя квантовая электродинамика, а у «Швингера — Вайскопфа — Бете», которых он считал командой — своя. В январе состоялась заседание Американского физического общества в Нью-Йорке, и Швингер на нем блистал. Его проект был далек от завершения, но он внедрил в стандартную квантовую механику новую идею перенормировки и сумел продемонстрировать ряд впечатляющих выводов. Он показал, что аномальный магнитный момент (например, Лэмбовский сдвиг) возникает вследствие взаимодействия электрона с собственным полем. Его лекция собрала толпу народа; зал был набит битком. Многие физики были вынуждены стоять в коридорах и слышали лишь взрывы аплодисментов (и смущенный смех, раздавшийся в тот момент, когда Швингер в конце своей речи произнес: «Совершенно ясно, что…»). Лекцию решили повторить в тот же день в Колумбийском университете; последовали спешные приготовления. На этой лекции побывал Дайсон. Оппенгеймер сидел в первом ряду и, не стесняясь, курил трубку. Когда настало время для вопросов и ответов, Фейнман встал и заявил, что получил аналогичные результаты и мог бы внести небольшую корректировку. И тут же пожалел о своих словах. Ему показалось, что они прозвучали как слова маленького мальчика, пролепетавшего: «Папа, я тоже так умею!» Той зимой еще мало кто догадывался, насколько сильным было соперничество между ним и Швингером, но одного раздосадованного замечания, высказанного Фейнманом своей девушке, было достаточно, чтобы та поняла источник его разочарования и разобралась в ситуации.

«Мне жаль, что эксперимент, над которым ты так долго работал, буквально украден кем-то другим, — ответила она. — Я понимаю, как тебе неприятно. Но, Дик, ведь конкуренция делает жизнь гораздо интереснее». И поинтересовалась: почему бы ему и его сопернику не объединить усилия и не начать работать вместе?

Не только Швингер и Фейнман пытались найти объяснение экспериментам с Лэмбовским сдвигом и магнитным моментом электрона и произвести соответствующие вычисления. Другие физики-теоретики взяли на вооружение подход Бете — те самые вычисления, которые он набросал на клочке бумаги. Они не видели необходимости в создании монументальной теории, новой квантовой электродинамики; ведь достаточно было внедрить технику перенормировки в существующую физику, и нашелся бы правильный ответ. Две команды ученых добились в

этом успеха независимо друг от друга, придя к более совершенному, чем у Бете, решению, которое учитывало рост величин на околосветовой скорости. Но одна команда — Вайскопф и аспирант Брюс Френч — совершила роковую ошибку, в нерешительности посоветовавшись со Швингером и Фейнманом перед публикацией своих открытий. Поглощенные своими более амбициозными проектами, они предостерегли Вайскопфа, сказав, что тот допустил неточность в расчетах одного маленького коэффициента. Вайскопф решил, что столь блестящие молодые ученые не могут ошибаться оба сразу, и отложил публикацию. Прошли месяцы, прежде чем Фейнман позвонил Вайскопфу, извинился и сказал, что его вычисления были верны.

Что касается собственной теории Фейнмана, разработкой которой он занимался, прорыв в ней произошел, когда он столкнулся с щекотливой темой антиматерии. Первая античастица — антиэлектрон, или позитрон — была описана менее двадцати лет назад. Это был знак «минус» из уравнений Дирака, следствие симметрии между позитивной и негативной энергией. Дирак, будучи вынужден как-то объяснить наличие «дыр» в океане энергии, в 1931 году отметил, что «дыра, если таковая обнаружится, является новым видом частиц, неизвестным экспериментальной физике»[130]. Впрочем, неизвестным этот вид пробыл лишь несколько месяцев: Карл Андерсон из Калифорнийского технологического нашел следы таких частиц в облачной камере, построенной для обнаружения космических лучей. Частица выглядела как электрон, но, двигаясь в магнитном поле, отклонялась вверх, а не вниз.

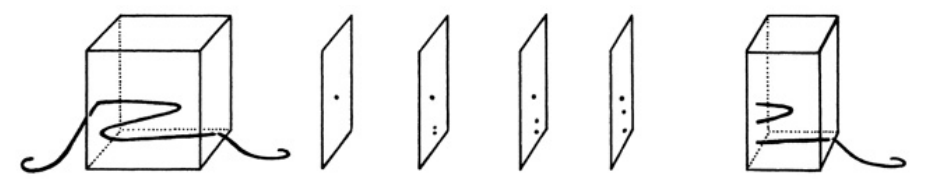
Четкие фотографии и броское название, придуманное для новой частицы редактором журнала против воли Андерсона, узаконили существование позитрона. Физики-теоретики больше не могли его игнорировать. При столкновении электрона с его «побратимом» из мира антивещества высвобождалась энергия в виде гамма-лучей. Или, на языке Дирака, который представлял себе вакуум как живой бурлящий океан, испещренный дырами или пузырьками, электрон проваливался в дыру и заполнял ее собой, вследствие чего и дыра, и электрон исчезали. Продолжив изучение снимков космических лучей, экспериментаторы выяснили, что есть и обратный процесс: гамма-луч, то есть высокочастотная частица света, был способен спонтанно произвести пару частиц — один электрон и один позитрон.

В теории Дирака наметились проблемные места: в ней, как и во всей его физике, возникали нежелательные бесконечности. Простейшее описание вакуума — пустое пространство в условиях абсолютного нуля — предполагало наличие бесконечной энергии

и бесконечного заряда. А с практической точки зрения человека, пытающегося вывести уравнение, бесконечность частиц была чревата неприятными последствиями. В поисках выхода из этой ситуации Фейнман в очередной раз обратился к своей работе с Уилером в Принстоне и восприятию времени как потока, текущего в обоих направлениях. Он снова предложил пространственно-временно*е* решение, в котором позитрон был электроном с противоположным знаком времени. Геометрия этого решения была проста, но весьма необычна, и Фейнману стоило большого труда подобрать метафору для ее описания:

«Представьте, что в куб с коллодием поместили черную нить, после чего коллодий отвердевает, — писал он. — Нить тянется сверху вниз произвольным образом. Затем куб нарезают по горизонтали на тонкие квадратные секции; из этих срезов, как из последовательно сменяющих друг друга кадров, составляют фильм». На каждом таком срезе будет присутствовать точка, и она будет перемещаться, шаг за шагом повторяя траекторию нити. А теперь представьте, объяснял Фейнман, что нить в кубе изогнулась в форме буквы N. Стороннему наблюдателю, который видит только срезы, но не нить целиком, эта картина напомнит образование пары «частица/античастица»:

«На последовательных срезах сначала будет видна лишь одна точка, но потом появятся еще две — срезанные участки изогнувшейся нити. Все три точки будут какое-то время двигаться вместе, затем две из них сойдутся и «обнулятся», и на последних кадрах вы опять увидите одну точку».



С помощью обычных уравнений, которые позволяют вычислить движение электрона, можно рассчитать и эту модель, хотя понадобится пройти «более сложный путь в пространстве и времени, чем тот, к которому мы привыкли». Сравнение с нитью не нравилось Фейнману; он искал метафоры, которые точнее бы выразили его точку зрения, запечатлели бы саму суть различия между траекторией нити «в срезе», то есть в конкретный момент времени, и явлением в целом. Но потом студент Корнелла, в войну служивший пилотом бомбардировщика, предложил сравнение, которое Фейнман позже использовал в своей работе и которое стало знаменитым.

Итак, пилот следит за дорогой через прицел низко летящего бомбардировщика и вдруг видит не одну, а три дороги. Он испытывает смятение, которое вскоре проходит, так как два новых «разветвления» сходятся и исчезают; пилот понимает, что мгновением раньше пролетел место, где дорога поворачивает в обратном направлении, изгибаясь в форме буквы N. Тот участок, где дорога идет назад, соответствует позитрону — он возникает одновременно с первым электроном, движется и аннигилирует с другим электроном.

Так Фейнман описал картину в целом. Метод интегралов по траекториям хорошо подходил для этой модели: еще по своей работе с Уилером он знал, что сумма фаз ближайших траекторий применима и к «обратному времени». Он также нашел способ разрешить осложнения, возникшие из-за принципа запрета Паули — фундаментального закона квантовой механики, согласно которому два электрона не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии. Фейнман весьма оригинально обошел этот принцип — постановил, что, хотя в ранних вычислениях участвовали две частицы, на самом деле это была одна частица, двигающаяся по зигзагообразной траектории во временном срезе. «Обычная теория скажет, что это невозможно, потому что в отрезок времени между t^y и t^x два электрона не могут находиться в одном и том же состоянии, — записал он в тетради. — Но мы заявляем, что это один и тот же электрон, и таким образом принцип Паули перестает действовать». Объяснение, словно взятое из научно-фантастического романа о путешествиях во времени, — едва ли физики были готовы его принять. Фейнман отдавал себе отчет в том, что предлагает радикально отступить от общепринятого понимания времени. Он нарушал повседневную интуитивную логику, гласящую, что будущего еще не существует, а прошлое уже прошло. В свое оправдание он мог сказать лишь одно: физическое время перестало соответствовать времени «психологическому» — законы микромира не делали различий между прошлым и будущим, а Эйнштейн уничтожил понятие абсолютного времени, не зависящего от наблюдателя. Вместе с тем Эйнштейн и помыслить не мог, что частицы способны развернуться и поплыть против течения времени. Фейнману осталось лишь подчеркивать необходимость такого переосмысления. «Для физики может оказаться полезным рассмотрение событий во всех временных пластах одновременно и понимание того, что в каждый отдельный момент времени мы осознаём лишь то, что уже случилось», — писал он.

Грохот моих шестеренок

Весной 1948 года Швингеру и Фейнману предстояла очередная конференция — продолжение элитной встречи на Шелтер-Айленде. Мероприятие запланировали на конец марта; для него был арендован курортный отель в горах Поконо в Пенсильвании. Все было как в прошлый раз: идиллическая обстановка, небольшой список участников и серьезная повестка. Снова должны были приехать Ферми, Бете, Раби, Теллер, Уилер и фон Нейман; председателем назначили Оппенгеймера. Кроме того, в этот раз ждали двух гигантов довоенной физики: Дирака и Бора.

Они собрались 30 марта в холле отеля, под старой зеленой башней с часами. Из окон открывался вид на поле для гольфа и километры лесистых гор. Конференция началась с доклада, посвященного последним новостям о треках частиц в космических лучах и ускорителе в Беркли. Ученые обещали, что к осени синхротрон, снабженный пятиметровым магнитом, разгонит протоны до значений энергий в 350 миллионов электронвольт. Этого будет достаточно для выделения огромного числа новых элементарных (так казалось ученым) частиц — мезонов, содержащихся в космических лучах и в данный момент представляющих самый большой интерес для исследователей. Чем ждать, пока образцы частиц поступят в облачные камеры из космоса, экспериментаторы лучше создадут их самостоятельно.

Анализируя данные, полученные в результате изучения космических лучей, ученые столкнулись с проблемой: оказалось, что между ожидаемой и реальной силами взаимодействия мезонов с другими частицами имелось огромное расхождение. На предыдущей конференции молодой физик Роберт Маршак высказал мнение, которое в 1947 году требовало от ученого гораздо больше мужества и смекалки, чем спустя двадцать — тридцать лет: он предположил, что существуют две разновидности частиц и что эти группы взаимодействуют друг с другом. Не один мезон, а два! — стоило только высказать это предположение, и оно стало очевидным. Фейнман торжествующе заявил, что новую частицу следует назвать маршаком. Благодаря развитию технологий реестр новых частиц насчитывал уже почти двузначное число. На открытии конференции в Поконо экспериментаторы разогревали публику демонстрацией слайдов с наиболее характерными изображениями — впечатляющими треками частиц, похожими на следы разбежавшихся кур. На этих снимках не было полей, матриц, операторов, зато геометрия

рассеяния частиц была представлена достаточно отчетливо.

На следующее утро пост докладчика занял Швингер. Он презентовал «полную» теорию квантовой электродинамики, которая, как он подчеркнул в самом начале, соответствовала двойному критерию «релятивистской инвариантности» и «калибровочной инвариантности». Выполненные в соответствии с ней вычисления выглядели одинаково вне зависимости от скорости и фазы частиц. Инвариантность гарантировала, что теория останется неизменной, какой бы ни была случайная позиция наблюдателя: так на длительность отрезка времени от рассвета до заката не влияет то, перевели вы часы на час вперед, чтобы продлить световой день, или нет. Теория обеспечивала независимость расчетов от определенной системы координат — «калибра». По словам Швингера, он рассматривал квантованное электромагнитное поле, в котором «каждая малейшая единица пространства считается частицей» — частицей с большей математической силой и меньшей визуальной ощутимостью, чем в физике вчерашнего дня. Далее он представил новые сложные вычисления и начал демонстрировать применение своей теории на конкретном примере, показывая взаимодействие электрона с его собственным полем. Его почтенные слушатели, скорее всего, ничего не поняли, но, в отличие от привычной Швингеру аудитории, их было не так легко запугать, поэтому его воодушевленную речь не раз прерывали. Сам Бор задал ему вопрос — Швингеру это не понравилось, и он резко его оборвал, а затем продолжил свою речь, пообещав, что все станет ясно в свое время. Как всегда, он не пользовался записями и подчеркивал это; почти вся его лекция была посвящена формулировкам, он выводил одно уравнение за другим. Это был настоящий математический марафон, затянувшийся почти до вечера. Бете отметил, что критики притихли, когда Швингер перешел к математическим формулам; вопросы возникали лишь тогда, когда тот начинал объяснять чисто физические понятия. Он поделился этим наблюдением с Фейнманом и посоветовал ему избрать аналогичный, математический подход к своему докладу. Глядя на своих знаменитых коллег, Ферми с некоторым удовлетворением отметил, что те начали терять нить. Лишь он и Бете до самого конца внимательно слушали Швингера.

Затем настала очередь Фейнмана. Он нервничал. Ему показалось, что лекция Швингера, по всем признакам блистательная, была принята не очень хорошо (но он ошибался: Швингер произвел неизгладимое впечатление на всех, и, главное, на Оппенгеймера). По совету Бете он полностью изменил ход доклада. Изначально Фейнман планировал излагать свои идеи с

точки зрения физики; математические формулы у него тоже имелись, хоть и не столь изящные, как у Швингера, но, как и у Швингера, они во многом были понятны лишь самому автору. Он мог объяснить свои методы с помощью формулировок, но не мог обосновать сами математические вычисления. Он пришел к имеющимся результатам путем проб и ошибок и знал, что его формула точна, так как проверил ее на множестве задач, в том числе на задачах Швингера — и она сработала. Но доказать, что она работает, и связать ее со «старой» квантовой механикой он был не в состоянии. Тем не менее он последовал совету Бете и начал с уравнений, заявив: «Математическая формула, которую я сейчас вам покажу, решает все нерешенные задачи квантовой механики».

Фейнман всегда говорил друзьям, что может рассказывать о физике кому угодно — неважно, кем были его слушатели. Он любил вспоминать о том, как Нильс Бор в Лос-Аламосе отметил его как молодого человека, который не боялся оспаривать мнение старших. Время от времени Бор обращался к Фейнману за личной консультацией, часто через своего сына Оге, тоже физика, но так до конца и не проникся к нему полной и безоговорочной симпатией. Бору претила «американистость» Фейнмана, его чрезмерный энтузиазм, манеры рубахи-парня. Сейчас, в конце затянувшегося дня, сидя среди двадцати шести других уважаемых ученых, Бор ждал. Фейнману никогда не приходилось выступать перед таким скоплением светлых научных умов — даже в Принстоне, когда он читал лекции в присутствии Эйнштейна и Паули. Он создал новую квантовую механику, почти не зная старой, за исключением работ Дирака и Ферми, которые он прочитал и на которые опирался; оба ученых сейчас сидели перед ним. Были здесь и его учителя Уилер и Бете. А также Оппенгеймер, который создал одну бомбу, и Теллер, строивший другую. Для них он был многообещающим и бесстрашным юным светилом. Через семь недель ему исполнялось тридцать лет.

Швингер впервые слышал теорию Фейнмана. Она показалась ему интеллектуально отталкивающей, хотя тогда он ничего не сказал (позже они по-дружески сравнят свои методы и обнаружат, что сходятся почти во всем). Ему казалось, что Фейнман выстраивает сеть из догадок и интуитивных предположений, напоминавшую сырой каркас из поперечных и продольных балок. Бете прервал его лишь однажды, почувствовав, что слушатели потерялись в деталях, и попытался вернуть Фейнмана к основным положениям теории. Тот объяснил свои интегралы по траекториям, оставшиеся совершенно непонятыми, и позитроны, путешествующие во времени, — идею еще более чуждую. Теллер

отметил явное нарушение принципа запрета и не согласился с неубедительным оправданием Фейнмана. У последнего же сложилось впечатление, что у каждого из присутствующих есть свой любимый принцип или теорема, а он нарушил их все. Дирак спросил: «Ваша теория унитарна?» Фейнман даже не понял, что он имеет в виду. Дирак объяснил: матрица, несущая объект из прошлого в будущее, должна хранить точную информацию о полной вероятности. Но у Фейнмана не было такой матрицы. Суть его подхода заключалась в том, что он рассматривал прошлое и будущее вместе; его объекты могли свободно передвигаться вперед и назад во времени по одному лишь своему желанию. Его не понимали. Наконец, когда он нарисовал на доске диаграммы — схематичные траектории частиц — и попытался продемонстрировать свой метод суммирования амплитуд различных траекторий, Бор поднялся с места. Разве Фейнман не проигнорировал центральный принцип квантовой механики, сформулированный еще двадцать лет назад? Совершенно очевидно, что эти траектории противоречат принципу неопределенности. Он подошел к доске, попросил Фейнмана отойти в сторону и начал объяснять. Уилер, делавший заметки, быстро записал: «Бор хотел знать, действительно ли эта теория рассматривает ту же физику, что и теория Дирака, или же физическая ее часть недостаточно продумана». Бор продолжал рассуждать несколько долгих минут. Тогда-то Фейнман и понял, что потерпел неудачу. В тот момент его это очень огорчило. Но позже он заметит: «Я рассказал им слишком много. Грохот моих шестеренок слишком далек от них».

«Кроме того, Фейнман представил свою теорию»

После конференции Уилер взял на себя задачу по распространению новейших научных данных. В этом его ограничивали лишь технологии того времени. Вернувшись в Принстон, он подрядил своих аспирантов в печатники. Те вручную, страница за страницей, перенесли его конспекты на бланки мимеографа и напечатали несколько десятков экземпляров, отчего их локти надолго окрасились в фиолетовый. В течение долгого времени эти самиздатовские брошюры были единственным способом ознакомиться с новой ковариантной квантовой электродинамикой Швингера. «Альтернативной формулировке» и любопытным диаграммам Фейнмана в ней было отведено лишь несколько страниц. Дайсон с жадностью читал эти заметки. Бете пытался раздобыть для него приглашение в Поконо («Представляете, как меня это обрадовало, как я был польщен?» — писал Дайсон родителям), но Оппенгеймер отказался рассматривать кандидатуру студента.

Фейнману поручили написать отчет нетехнического характера о встрече в Поконо для нового профильного журнала «Физика сегодня» (Physics Today) (как он надеялся, анонимно). В своей статье он разъяснил перенормировку по Швингеру, заключив ее словами:

«Большая часть конференции была посвящена лекции Швингера и последующему обсуждению его находок. Как выразился один участник, “на обсуждения осталось не так много времени, ведь нам пришлось учить физику”. Он имел в виду новую работу Швингера».

«Кроме того, Фейнман представил свою теорию, в которой электродинамические уравнения изменены таким образом, чтобы все величины, в том числе инертность (масса) электронов, оказались конечными. Результаты этой теории согласуются с выводами Швингера, но не имеют столь же законченного характера».

В качестве поощрительного приза Фейнмана попросили помочь в выборе кандидата на получение новой премии, учрежденной Национальной академией наук за «выдающийся вклад в наше понимание природы света». Увидев имя Фейнмана в списке экспертов, Швингер догадался, что премия достанется ему, и оказался прав. Ведь что еще, как не свет во всех его обличьях, является главным предметом изучения квантовой

электродинамики?

Пожалуй, никто другой не находился под столь сильным впечатлением от Швингера (и столь же слабым — от Фейнмана), как Оппенгеймер. А по возвращении в Принстон он, к своему изумлению, нашел подтверждение теории Швингера в письме от японского физика-теоретика Синъитиро Томонаги, чей путь к славе начался со слов: «Я взял на себя смелость и отправил вам копии нескольких своих работ и конспектов…»

Японские физики стали значимыми фигурами в мировом физическом сообществе лишь недавно, в 1930-х годах. Хидэки Юкава из Киотского университета первым предположил, что «переносчиком» ядерной энергии, связывающим протоны в атомном ядре, может быть некая тяжелая, недолговечная и еще не открытая частица. Затем началась война, и Япония оказалась отрезанной от остального мира. Даже теперь, когда война закончилась, связь с оккупированной Японией восстанавливалась медленно. О Лэмбовском сдвиге в Киото и Токио узнали не от американских физиков, не из научных бюллетеней, а из небольшой заметки в обычном новостном журнале.

Томонага был уроженцем Токио и выпускником Киотского университета, одноклассником и другом Юкавы. На него глубоко повлиял Дирак: Томонага принадлежал к небольшой группе ученых, которые перевели знаменитый учебник британского физика на японский. В 1937 году он отправился в Германию и учился у Гейзенберга; с началом войны вернулся домой, по пути заехав в Нью-Йорк и посетив Всемирную выставку. Он разработал теорию «супермножественного времени», согласно которой каждая точка поля обладает собственными «часами». Несмотря на кажущуюся абсурдность попыток манипулировать бесконечным числом временных переменных, теория оказалась рабочей. Разрабатывая свою концепцию, Томонага оказался практически на той же территории, которую осваивали его коллеги из Европы и Америки, однако в своих исследованиях он чувствовал себя куда более одиноким, и даже учеба в Германии не избавила его от этого ощущения. Иногда он описывал свое мрачное настроение в дневнике:

«После ужина я снова занялся физикой, но вскоре сдался. Кажется, какой-то злой рок мешает моей работе. Без всякой видимой причины меня охватило уныние, и я пошел в кино… Вернувшись, почитал научный сборник, но мало что понял… Почему в природе всё не может быть яснее и доступнее для понимания?.. Занявшись вычислениями, я обнаружил, что интегралы расходятся: в результате я получаю бесконечность. После обеда пошел прогуляться. На улице жгучий мороз… Все мы

стоим на разделительной полосе, откуда невозможно увидеть будущее. Нам не стоит слишком тревожиться из-за результатов, хотя они могут существенно отличаться от ожидаемого…»

Это чувство эмоциональной опустошенности, охватывавшее его время от времени, не шло ни в какое сравнение с тем, что ему пришлось пережить в первые месяцы после японской капитуляции. Нехватка продовольствия и жилья в Японии затмила все остальное. Томонага жил в «куонсетской хижине» — времянке из гофрированной стали — на территории Токийского университета. В ней же он обустроил кабинет. Вместо мебели были татами.

Хотя Оппенгеймер ничего не знал об условиях, в которых жил Томонага, ему было хорошо известно о тяготах, постигших Японию из-за того, что он и его коллеги сотворили в Лос-Аламосе. Он хотел, чтобы физика осталась международной — в данный момент, казалось, в ней воцарились американцы. Так что Томонага написал ему в самый подходящий момент. Из письма ясно следовало, что японский физик не только пришел к тем же основным выводам, что и Швингер, но сделал это раньше. Он не публиковал свою работу и, в отличие от Швингера, не дал ее детального обоснования, но он был первым. Оппенгеймер тут же выразил Томонаге свое одобрение, разослав письма всем участникам конференции в Поконо. «Мы выслушали прекрасный доклад Швингера, — написал он, — и потому сможем оценить это независимое открытие». Для Дайсона, пытавшегося разобраться в новых теориях, представленных в Поконо, откровением в работах Томонаги стала их красивая простота. Он осознал, что теперь наконец ему стали понятны идеи Швингера, которые вряд ли нуждались в столь сложных обоснованиях. Изучая конспекты из Поконо, многие аспиранты пришли к такому же выводу, несмотря на дифирамбы Швингеру со стороны их наставников. Позднее Дайсон процитировал слова одного «недоброжелательного критика», который сказал: «Кто-то печатает свои работы, чтобы рассказать, *как* это сделать; Джулиан Швингер публикуется, чтобы показать, что только *он один может* это сделать». Швингер словно поставил своей целью достичь максимально возможного соотношения уравнений к тексту, и его сочинения стали серьезным испытанием для наборщиков Physical Review.

Иногда среди аплодисментов Швингеру раздавалась критика: суть замечаний сводилась к тому, что он бездушный Паганини, вместо музыки ослепляющий слушателей своей техникой; что он больше математик, чем физик; что он слишком старательно сглаживает углы. «Полагаю, меня обвиняют в том, что я

представил законченную сложную математическую формулу, за которой не видно физических открытий, ставших для нее строительным материалом», — говорил он позднее.

Да, он убрал те самые «балки». Ему никогда не нравилось демонстрировать черновой ход своей мысли — так же, как он предпочитал не показывать конспекты своих лекций слушателям. Но, если бы ему не хватало физической интуиции, никакая математическая мысль не помогла бы ему соединить относительность и квантовую электродинамику. За всеми его формулами крылось глубокое, историческое понимание природы частиц и полей. Для Швингера перенормировка была не просто математическим фокусом. Она означала новый этап в понимании того, что такое частица. И если бы он сформулировал свое главное открытие повседневным языком, который, по его мнению, был недостаточно выразительным, оно звучало бы так:

«О чем мы говорим — о частицах или о волнах? До недавнего времени ученые считали, что их уравнения непосредственно касаются явления, называемого в физике частицами, — например, уравнение Дирака, которое должно описывать атом водорода. Но применительно к теории полей уравнения характеризуют всего лишь один из подуровней. Экспериментально мы рассматриваем частицы, а теоретически с помощью старых формул описываем поля. Говоря о полях, мы предполагаем, что можно описать и каким-то образом ощутить происходящее во всех точках пространства в любой момент времени; говоря о частицах, мы просто берем образец поля и замеряем его в конкретный момент времени.

Свойство частицы — последовательность. Мы понимаем, что перед нами частица, лишь когда по прошествии времени она остается на месте. Это явление подразумевает непрерывность присутствия в пространстве и времени. Но если мы производим измерения в разные моменты, не связанные друг с другом, откуда нам знать, что мы имеем дело с частицами? Эксперименты позволяют исследовать поле лишь приблизительно, рассматривая большие участки пространства в течение продолжительного времени.

Суть перенормировки заключается в том, чтобы перейти с одного уровня описания на следующий. Начиная выводить уравнения для поля, вы оперируете на уровне, где нет частиц: они появляются лишь тогда, когда уравнения поля решены. Но изначально в уравнениях отсутствуют свойства, приписываемые частицам, — заряд и масса.

Кто-то скажет: “В ваших уравнениях есть расхождения, вам нужно их исправить их”. Но это всего лишь форма, а не суть

перенормировки. Суть в том, что теории Максвелла и Дирака описывают не электроны, позитроны и фотоны, а гораздо более масштабные вещи».

Американское путешествие с Фрименом Дайсоном

У Фейнмана была привычка исчезать в конце учебного года, оставляя после себя непроверенные работы, тесты с непроставленными оценками и ненаписанные рекомендательные письма. Бумажную работу за него часто доделывал Бете. Тем не менее в июне Фейнман получил гневное послание от декана Ллойда Смита:

«Ваш внезапный отъезд из Итаки причинил существенные неудобства и затруднил работу всего факультета. Вы не проставили оценки за свой курс, и, что особенно важно, не выставили их студентам-выпускникам, которые из-за этого не могут закончить обучение. Меня несколько настораживает столь очевидное безразличие к вашим обязательствам перед университетом…»

В ответ Фейнман выводил оценки — он их всегда округлял и никому не ставил больше 85 баллов — и возвращался к уравнениям.

В июне 1948 года он сел за руль своего подержанного «олдсмобиля» и рванул через всю страну на скорости 100 километров в час. Рядом с ним на пассажирском месте сидел Фримен Дайсон; он любовался летящим мимо пейзажем и периодически молил, чтобы Фейнман сбавил скорость. Фейнману его спутник казался, пожалуй, слишком рафинированным. А Дайсону нравилась роль иностранного наблюдателя за американской жизнью: у него появилась возможность представить себя Токвилем[131], изучающим Дикий Запад с удобного наблюдательного пункта — шоссе 66. Миссури, река Миссисипи (мутная, красно-коричневая, в точности, как он представлял), Канзас, Оклахома — все эти места показались ему непохожими на Дикий Запад; на самом деле они не слишком отличались от нью-йоркского пригорода, где он жил. Он решил, что современная Америка похожа на викторианскую Англию, особенно в том, что касалось обстановки домов представителей среднего класса и женских нарядов. Дайсон направлялся в город Энн-Арбор в штате Мичиган, где собирался отыскать Швингера: тот читал в летней школе серию лекций, посвященных своей новой теории. Фейнман же ехал в Альбукерке выяснять отношения с женщиной, с которой познакомился в Лос-Аламосе. (Это была Роуз Макшерри, секретарша, с которой он встречался после смерти Арлин. Нынешняя пассия Фейнмана подначивала его, называя Макшерри

его кинозвездой. Дайсон же думал, что Ричард собирается жениться на Роуз.)

Вскоре Дайсон понял, что Фейнман едет в Энн-Арбор не коротким путем, но это его скорее обрадовало, так как давало возможность провести с Ричардом больше времени. Фейнман интересовал его, как никто другой. За месяцы, прошедшие после конференции в Поконо, Дайсон много думал и пришел к выводу, что его задача — синтезировать сложные новые теории квантовой электродинамики, все противоборствующие, как ему казалось, концепции (хотя большая часть научного сообщества не считала их таковыми). Он присутствовал при том, как Фейнман в неформальной обстановке объяснял у доски свою теорию, не показывая ход решения уравнения, как это было принято, а записывая лишь ответы. Дайсона это беспокоило, он хотел во всем разобраться.

Они ехали, иногда подбирая попутчиков, но в целом придерживаясь выбранной скорости. Фейнман открылся Дайсону больше, чем кому-либо из друзей, в том числе поделился с ним своими взглядами на будущее, а они были мрачными. Фейнман был убежден, что мир пережил лишь начало ядерной войны. Воспоминание о «Тринити», вызвавшем у него бурю ликования в 1945-м, теперь угнетало его. Его коллега по Корнеллскому университету Филип Моррисон опубликовал рассказ-предупреждение, в котором описывался взрыв атомной бомбы на Двадцатой улице в Восточном Манхэттене. Моррисон своими глазами видел последствия бомбардировки Хиросимы и написал свое произведение в прошедшем времени, отчего то производило особенно гнетущее и яркое впечатление, и теперь, встречаясь с матерью в ресторане в центре Манхэттена, Фейнман не мог не думать о радиусе поражения. Его преследовала мысль, что обычные люди, не отягощенные его злополучным знанием, живут в плену жалких иллюзий, подобно муравьям, которые суетятся, занимаясь прокладыванием тоннелей и строительством, пока их не раздавят огромным ботинком. Вообще-то это был классический симптом безумия — ощущение, что ты один не сумасшедший и видишь все как есть, но Дайсону казалось, что он еще не встречал человека более здравомыслящего, чем Фейнман. Это был совсем не тот шут, о котором он рассказывал родителям. Позднее Дайсон написал им: «Когда мы ехали по Кливленду и Сент-Луису, Фейнман мысленно высчитывал расстояние от эпицентра взрыва, радиус смертельного поражения, ущерб от ударной волны и огня… Мне казалось, что я еду с Лотом через Содом и Гоморру».

Подъезжая к Альбукерке, Фейнман задумался об Арлин. Иногда ему казалось, что после ее смерти он живет с постоянным

ощущением преходящести всего сущего. Из-за весеннего паводка в оклахомской прерии шоссе перекрыли. Дайсон никогда не видел, чтобы дождь падал сплошной пеленой: это была необузданная природа, дикая, как и сами американцы, которые, кажется, могли высказать все, что было у них на уме. По радио передавали о людях, застрявших в машинах: кто-то утонул, кого-то спасли на лодке. Они свернули с шоссе в городок под названием Винита и остановились в одном из тех отелей, что были хорошо знакомы Фейнману по поездкам на выходные к Арлин: конторка на втором этаже, вывеска «В отеле сменились хозяева, так что если вы пьяны, идите своей дорогой»; вместо двери — шторка, закрывающая вход в комнату на двоих за пятьдесят центов с человека. В ту ночь он рассказал Дайсону об Арлин больше, чем за все время их знакомства. Они оба будут помнить этот разговор до конца жизни.

Говорили они и о своих научных чаяниях. Фейнмана гораздо меньше, чем Дайсона, занимала его по-прежнему сырая теория перенормировки в квантовой электродинамике: в то время он был одержим теорией суммы траекторий. Идеи Фейнмана казались Дайсону грандиозными, всеобъемлющими — и слишком амбициозными. В поисках этого Грааля немало физиков споткнулось о грабли, включая Эйнштейна. Дайсон — больше, чем кто-либо из тех, кто слышал Фейнмана в Поконо и посещал его периодические семинары в Корнелле, больше даже, чем Бете, — начал понимать, как высоко замахнулся Фейнман, хотя и не готов еще был признать, что его друг действительно может «обэйнштейнить» Эйнштейна. Его восхищала дерзость и масштабность мечты Фейнмана, стремящегося объединить сферы физики, которые находились бесконечно далеко друг от друга. На самом крупном уровне, включающем солнечные системы и галактические скопления, царила гравитация. На уровне микромира еще не открытые частицы связывали ядро атома невообразимо мощными силами[132]. Дайсон считал, что было бы достаточно покрыть «среднюю территорию», включающую все, что находилось «между», — повседневную среду, основы химии и биологии. Эта сфера, в которой правила квантовая теория, охватывала явления, которые можно было увидеть и изучить без помощи громадного телескопа или громоздкого ускорителя частиц. Но Фейнману этого было мало.

Для него представлялось крайне важным, чтобы его взгляд на мир стал универсальным. Он должен был описывать все происходящее в природе. Недопустимо, чтобы теория суммы траекторий была верна для одной части природы и неверна для другой. Невообразимо, чтобы она работала для электронов и

была неприменима к гравитации. Это должен был быть всеобъемлющий принцип, который объяснял бы всё или не объяснял ничего.

Спустя много лет они вспоминали ту ночь в Вините. Высказывания Дайсона свидетельствовали о том, что он боготворил Фейнмана и это чувство осталось неизменным. Фейнман же, как обычно, травил байки, используя рассказ как возможность подколоть друга. Дайсон писал:

«В этой маленькой комнатушке, под звук дождя, барабанившего по грязным оконным рамам, мы проговорили всю ночь. Дик рассказывал о своей покойной жене, о том, как рад он был ухаживать за ней, облегчая ее последние дни; о том, как они издевались над цензорами в Лос-Аламосе, о ее чувстве юмора и мужестве. Он говорил о смерти просто и фамильярно, как может говорить лишь человек, чей дух столкнулся с худшим, на что способна смерть, но не был сломлен. У Ингмара Бергмана в фильме “Седьмая печать” был Юф, жонглер; он вечно шутил и притворялся дураком, у него были видения и сны, в которые никто не верил, но в конце концов, когда смерть забрала остальных, выжил именно он. Дик очень на него похож».

А вот записки Фейнмана:

«Номер был относительно чистым, там была даже раковина — всё лучше, чем ничего. Мы стали готовиться ко сну.

Дайсон сказал:

— Мне нужно в туалет.

— Туалет в коридоре.

Тут мы услышали женский смех и шаги взад-вперед по коридору; Дайсон занервничал. Ему не хотелось туда идти.

— Ну ладно, — говорю я, — пописай в раковину.

— Но это негигиенично.

— Да нет, нормально — просто включи воду.

— Я не смогу, — отвечает он.

Мы оба устали и ложимся спать. В комнате жарко, мы не накрываемся, а мой друг не может уснуть из-за постороннего шума. Мне же удается немного поспать.

Чуть позже слышу скрип половиц и приоткрываю один глаз. Дайсон крадется в темноте, потихоньку приближаясь к раковине».

И снова Дайсон:

«В ту дождливую ночь в нашей маленькой комнате в Вините мы с Диком не заглядывали на тридцать лет вперед. Я лишь знал, что где-то среди множества его идей есть ключ к теории квантовой электродинамики и он гораздо проще и гораздо ближе к физике, чем запутанные конструкции Джулиана Швингера. А Дик понимал одно — что перед ним стоит гораздо более

важная цель, чем “причесать” уравнения Швингера. Так что мы не закончили наш спор, и каждый остался при своем мнении».

Они приехали в Альбукерке. Дайсон впервые увидел обманчиво прозрачный воздух Невады и красную пустыню у подножия заснеженных гор. Фейнман ворвался в город на скорости 110 километров в час, и его тут же арестовали за несколько нарушений правил дорожного движения, последовавших одно за другим.

Мировой судья пообещал не включать выписанный штраф в его личное дело. Тут они расстались: Фейнман направился к Роуз Макшерри (жениться на ней оказалось невозможным, отчасти потому, что она была убежденной католичкой, а он никогда бы не согласился принять католичество), а Дайсон пошел искать автобус, который доставил бы его в Энн-Арбор к Швингеру.

Капитуляция Оппенгеймера

С благословения Бете осенью 1948 года Дайсон перевелся в принстонский Институт перспективных исследований. За год до этого директором института стал Оппенгеймер. Дайсону не терпелось произвести на него впечатление, и не ему одному. «В среду возвращается Оппенгеймер, — писал он родителям. — Атмосфера в институте в эти дни похожа на первую сцену из “Убийства в соборе”[133]: женщины Кентербери в ожидании приезда архиепископа».

Однако он не стал ждать одобрения Оппенгеймера и еще до его приезда отправил в Physical Review рукопись с откровениями, пришедшими к нему в последние дни лета. Он с гордостью сообщил родителям, что напряжение тех дней чуть не убило его. Вдохновение накрыло Дайсона по пути на восток, в Принстон, — он пятьдесят часов ехал на автобусе. (Услышав об этом, Оппенгеймер отреагировал саркастическим сравнением с Ферма, который, по легенде, открыл свою теорему «как гром среди ясного неба»: «На полях не хватило места для доказательств».) Дайсон нашел общее математическое обоснование разрозненных теорий, в существовании которого он был убежден. Он также создал новую терминологию и изменил старую в своих целях. Главным открытием Дайсона стала так называемая матрица рассеяния, или S-матрица, — описание всех вероятностей рассеяния частиц, их путей от изначального состояния до конечной точки. Он продвигал свою теорию как «унифицированную разработку темы», заявляя, что она надежнее, чем фейнмановская, и проще в использовании, чем швингеровская. А его отец сказал, что троица Фейнман — Швингер — Дайсон напоминает ему Афанасьевский символ веры: «Существует Триединство. Отец непостижим, и Сын непостижим, и Святой Дух непостижим; но не существует трех непостижимых, а лишь один».

Дайсон понимал, что спешит с публикацией обзора теорий, еще не обнародованных их создателями, и что создатели эти могут на него обидеться. Он навестил Бете: тот приехал в Нью-Йорк, в Колумбийский университет. Они отправились на долгую прогулку в парк Риверсайд. Солнце садилось над Гудзоном. Бете предупредил его о возможных осложнениях. Дайсон же ответил, что Швингер с Фейнманом сами виноваты, что не опубликовали «хоть сколько-нибудь внятного изложения своих теорий»: он подозревал, что Швингер до сих пор дотошно вычищает каждую мелочь, а Фейнману просто лень возиться с бумажками. Это

безответственно. Они тормозят развитие науки. Дайсону казалось, что, сделав их работы достоянием общественности, он окажет человечеству услугу. В конце концов они с Бете пришли к выводу, что Фейнману, скорее всего, будет все равно, однако Швингер действительно может обидеться, а для амбициозного молодого ученого вставать поперек горла Швингеру — не лучшая тактика. «И в результате, — писал Дайсон родителям, — перефразируя Марка Антония[134], мне пришлось добавить в свою работу несколько явных указаний на то, что “я Швингера не хоронить, а славить / Пришел сюда”. Остается лишь надеяться, что лесть собьет его с толку».

И все же основные положения его работы были ясны. Проведенный им анализ различий и представленные описания вскоре стали общепринятым мнением в физике: он доказал, что Швингер и Томонага использовали один и тот же подход, в то время как подход Фейнмана существенно отличался; что метод Фейнмана оригинален, интуитивен, а метод Швингера — формален и трудоемок.

Дайсон хорошо понимал, что обращается к аудитории, которой нужен инструментарий. Демонстрируя формулу Швингера, в которой коммутаторы разветвлялись, как ветки на дереве, он отмечал, что «их оценка порождает длинный и довольно сложный анализ», и читатели понимали, что он не преувеличивает. Он подчеркивал, что достоинство фейнмановского подхода заключается в простоте применения. Чтобы «записать элементы матрицы» для определенного явления, пояснял он, необходимо взять результаты и заменить их суммами элементов матрицы из другого уравнения; иначе говоря, сгруппировать составные части определенной формулы и осуществить замену. А можно просто начертить график.

Простейший график Дайсона

Графиком в математике называются соединенные линиями точки. Дайсон продемонстрировал, что для каждой матрицы существует график, как для каждого графика существует матрица. Графики стали способом каталогизировать массивы вероятностей, которым иначе не находилось места. Эта концепция была настолько далека от привычного понимания, что

Дайсон предложил читателям начертить графики самостоятельно — в уме. В журнале разместили всего один. Сплошные линии, следующие в определенном направлении, Дайсон назвал линиями электронов, а не имеющие конкретного направления пунктирные линии — линиями фотонов. По словам Дайсона, Фейнман задумал не только учесть все матрицы: его целью была «полная картина физического процесса». Для Фейнмана точки символизировали процесс создания или уничтожения частиц; линии — пути электронов и фотонов не в измеримом реальном пространстве, а во времени, в промежутках между квантовыми событиями.

Оппенгеймер отреагировал на публикацию с прохладцей, граничащей с враждебностью, что очень удручило Дайсона. Такой реакции он совсем не ожидал. Он не привык видеть знаменитого ученого пораженцем, впавшим в апатию, враждебно настроенным к новым идеям и не желающим слушать.

Оппенгеймер только что вернулся из Европы, где выступал с докладом о нынешнем состоянии теории на двух международных конференциях. Он называл ее «теорией Швингера», или «программой Швингера». По его словам, первый скачок в развитии теории был сделан «по большей части благодаря Швингеру», а второй — «полностью его усилиями». «Алгоритмы Фейнмана» он упомянул мимоходом и пренебрежительно, словно некий казус.

Дайсон решил, что за скромность наград не дают, и по внутренней почте отправил Оппенгеймеру письмо, в котором содержался агрессивный манифест (это случилось в первые недели после его перевода в Принстон). В письме он заявлял, что Оппенгеймер не отдает себе отчет ни в важности и масштабе применения новой квантовой электродинамики, ни в том, насколько согласованной может быть эта теория. Он не стеснялся в выражениях.

«От мистера Ф. Д. Дайсона

Уважаемый доктор Оппенгеймер!

Я совершенно не согласен с точкой зрения, высказанной вами в отчете для Сольвеевского конгресса[135] (не согласен не столько с тем, что вы сказали, сколько с тем, что не сказали)…

1. …Я убежден, что теорию Фейнмана гораздо проще понять, применить и преподавать.

2. Поэтому я убежден, что в правильной теории, даже если она будет радикально отличаться от наших нынешних представлений, будет гораздо больше от Фейнмана, чем от Гейзенберга и Паули.

<…>

5. У меня есть все причины полагать, что метод Фейнмана применим как к электродинамике, так и к теории мезонов…

6. Вне зависимости от того, какая из высказываемых ныне теорий окажется истинной, очевидно, что в нашем распоряжении теперь есть теория ядерных полей, которую можно развить до предела, когда ее результаты будут сравнимы с экспериментальными, и за эту задачу следует взяться со всем энтузиазмом».

Непосредственного энтузиазма не последовало, но Оппенгеймер все же организовал несколько форумов, дав Дайсону возможность изложить свои идеи. Его выступления стали событием в мире физики. Из Нью-Йорка приехал Бете, чтобы послушать его и морально поддержать. Присутствие Оппенгеймера на семинарах действовало Дайсону на нервы; тот постоянно прерывал его, критиковал, придирался, использовал любой шанс указать на ошибку. Дайсону казалось, что профессор страдает от неконтролируемого невроза: он курил одну сигарету за другой и все время ерзал в кресле. Фейнман следил за успехами Дайсона издалека, не отрываясь от своей работы. Однажды Дайсон навестил его в Корнелле в выходные и изумленно наблюдал, как тот за каких-то пару часов решил два фундаментальных уравнения. Потом Фейнман впопыхах написал ему письмо: «Дорогой Фримен, надеюсь, ты не раззвонил всем, как быстро я сумел подсчитать рассеяние света, измерив потенциалы, потому что вчера, взглянув на свои расчеты, я обнаружил, что эффект равен нулю. Уверен, какой-нибудь сообразительный парень вроде Оппенгеймера сразу заметил бы мою ошибку».

В конце концов Бете сумел переубедить Оппенгеймера. Он открыто заступился за теорию Фейнмана и поддержал Дайсона перед аудиторией, заявив, что тому определенно есть что сказать. Он отвел Оппенгеймера в сторону на частный разговор, и после этого ситуация изменилась. К январю стало ясно, что Дайсон победил. На собрании Американского физического общества он чувствовал себя почти таким же героем, как Швингер год назад. Сидя в зале рядом с Фейнманом, он слушал восторженную речь лектора о «прекрасной теории Фейнмана — Дайсона». Фейнман провозгласил: «Что ж, док, теперь ты в деле». А ведь у Дайсона даже не было докторской степени. Воодушевленный, он отправился в турне с лекциями и сказал родителям, что теперь его официально считают птицей высокого полета. Но лучшей и самой запомнившейся наградой за труды для него стала записка, обнаруженная им в почтовом ящике в конце осени. В ней говорилось: «*Nolo contendere*[136]. *P. O.*»[137]

Графики Дайсона, диаграммы Фейнмана

Фейнман полностью осознал мощь своей мыслительной машины в январе, на том же собрании Американского физического общества. Поводом стала история со Слотником и теоремой Кейза. Физик Мюррей Слотник представил свою работу по динамике мезонов, и Оппенгеймер разнес ее в пух и прах. Новый вид частиц и новый вид полей: применимы ли к ним недавно разработанные методы перенормировки? Сейчас внимание физиков было направлено внутрь ядра, на высокоэнергетичные частицы, формирующие силы внутри ядра атома, и теории мезонов переживали подъем. Их содержание напоминало квантовую электродинамику — как-никак, «флора» и «фауна» были одними и теми же, — но имелось одно существенное различие: «двойником» фотона был мезон, а мезон обладал массой. Фейнман не владел ни языком, ни специфическими методами этой быстро развивающейся области физики. Данные, полученные в ходе экспериментов, свидетельствовали о рассеянии электронов нейтронами. Многие гипотезы, казавшиеся правдоподобными, столкнулись с вечной проблемой физиков — бесконечностями. Слотник исследовал два вида теорий — с псевдоскалярной связью и псевдовекторной связью. В первом случае ответ был конечным; во втором получалась бесконечность.

И Слотник решил доложить о своей работе. По окончании его доклада Оппенгеймер спросил: «А как же теорема Кейза?»

Слотник впервые слышал про теорему Кейза, и неудивительно — ведь Кеннет Кейз, сотрудник докторантуры, работавший в институте Оппенгеймера, еще не опубликовал ее. Но оказалось, что согласно этой теореме результат должен быть одинаковым как для псевдоскалярной, так и для псевдовекторной связи. Выступление Кейза было намечено на следующий день. Слотнику нечего было ответить.

Фейнман не изучал теорию мезонов. Получив ее краткое объяснение, он вернулся в номер и взялся за расчеты. И тоже получил два разных результата. На следующее утро он поймал Слотника и попросил его проверить свои вычисления. Тот пришел в недоумение. У него ушло полгода напряженной работы на эти расчеты; о чем речь? Фейнман достал листок бумаги с написанной формулой.

— А что значит Q? — спросил Слотник.

— Передача импульса, — ответил Фейнман. — Свойство, изменяющееся в зависимости от степени смещения электрона.

Такой ответ стал еще одним потрясением для Слотника: за полгода работы он так и не осмелился подступиться к этому усложнению. Ему казался трудно решаемым даже пример с электроном без смещения.

Да это неважно, отмахнулся Фейнман. Он установил величину *Q*, равную нулю, упростил свое уравнение и снова убедился, что расчеты, сделанные им вчера вечером, совпадают с результатами Слотника. Он пытался сдержать ликование, но горел от возбуждения. Всего за пару часов он создал более совершенную версию расчетов, ради которых другой физик поставил на карту всю свою карьеру! Теперь Фейнман точно знал: надо публиковаться. Пока другие орудовали палками и дубинками, у него одного в руках оказался арбалет.

Он пошел на лекцию Кейза, в конце которой вскочил и задал заранее приготовленный вопрос: «А как же расчеты Слотника?»

Тем временем Швингер обнаружил, что больше не является центром внимания. Работа Дайсона содержала выпад в его сторону — того самого Дайсона, который прошлым летом казался таким воодушевленным учеником! А теперь еще этот странный внезапный триумф Дайсона и Фейнмана. Позднее Швингер высказался об этом со своим неподражаемым завуалированным сарказмом: «Манерой провозглашать свои теории эти двое напоминали апостолов, вознамерившихся познакомить простой люд с еврейским богом посредством древнегреческой логики».

Но Фейнман представил свою логику в своей манере. Они с Дайсоном вместе выступили на третьей и последней мини-конференции физиков, на этот раз организованной в Олдстоуне-на-Гудзоне. Это была завершающая часть триптиха, начатого два года назад конференцией на Шелтер-Айленде. Фейнман к тому времени приступил к публикации своего обширного научного материала: он написал более ста тысяч слов, а выход работ в свет растянулся на три года. Эти труды ознаменовали начало новой эпохи для следующего поколения физиков. После материала по интегралам по траекториям в Physical Review последовали «Релятивистский предел в классической электродинамике» (A Relativistic Cut-Off for Classical Electrodynamics), «Релятивистский предел в квантовой электродинамике» (Relativistic Cut-Off for Quantum Electrodynamics), «Теория позитронов» (The Theory of Positrons), «Пространственно-временной подход в квантовой электродинамике» (Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics), «Математическая формулировка квантовой теории электромагнитного взаимодействия» (Mathematical Formulation of the Quantum Theory of Electromagnetic Interaction) и «Применение операторной

алгебры в квантовой электродинамике» (An Operator Calculus Having Applications in Quantum Electrodynamics). Молодые теоретики, прочитавшие эти публикации от корки до корки, поняли, что Дайсон обрисовал в*и*дение Фейнмана лишь в общих чертах. Их вдохновляло воображение Фейнмана, создававшего точные образы, начиная с незабываемой метафоры бомбардировщика в работе о позитронах, и его настойчивость в использовании самых простых формулировок для физических принципов.

«Остаточная масса частиц — это не что иное, как результат работы по преодолению взаимного притяжения, возникающего после их создания…

Каким представляется этот путь тому, чье будущее постепенно становится прошлым, так как настоящее находится в постоянном движении? Сначала он увидит…»

Читая эти работы, начинающие физики невольно задумывались о том, что такое пространство, время, энергия. Благодаря Фейнману физика оправдывала ожидания своих почитателей: она представала самой фундаментальной из дисциплин и давала возможность изучающим ее разобраться в основополагающих вопросах мироздания. А главное, молодым исследователям пришлись по душе диаграммы Фейнмана.

Фейнман сказал Дайсону (слегка заносчиво), что не потрудился прочесть его работы. «Мы с Фейнманом прекрасно понимаем друг друга, — в приподнятом настроении писал Дайсон родителям. — Я знаю, что он единственный человек на Земле, который не почерпнет из написанного мной ничего нового для себя, и он открыто сообщил мне об этом». Однако студенты Фейнмана порой замечали, что в его упоминаниях о Дайсоне как будто бы сквозила злость. Например, все вокруг твердили о графиках Дайсона. Фейнмана это раздражало. «Почему графики?» — спросил он Дайсона. С чего это он вдруг вообразил себя математиком, зачем так рисоваться?

Впоследствии выяснилось, что Дайсон был не единственным, кто опередил Фейнмана с его пространственно-временным методом. В учебнике немецкого физика Грегора Вентцеля 1943 года содержалось параллельное описание обмена частиц при бета-распаде. Ученик Вентцеля, швейцарец Эрнст Штюкельберг, разработал метод диаграмм, включавший даже концепцию позитронов, движущихся назад во времени; часть своих находок он опубликовал на французском языке, часть осталась неопубликованной. (Надо сказать, на Вентцеля они не произвели никакого впечатления.) Но в этих диаграммах проскальзывали лишь зачатки метода визуализации, который

полностью был реализован Фейнманом. Его собственная, полная версия — «Фундаментальное взаимодействие» (The fundamental interaction) — в конце концов увидела свет поздней весной 1949 года. Образ двух электронов, которые в ходе взаимодействия обмениваются фотоном, впечатался в подкорку следующему поколению физиков-теоретиков, изучающих поля.

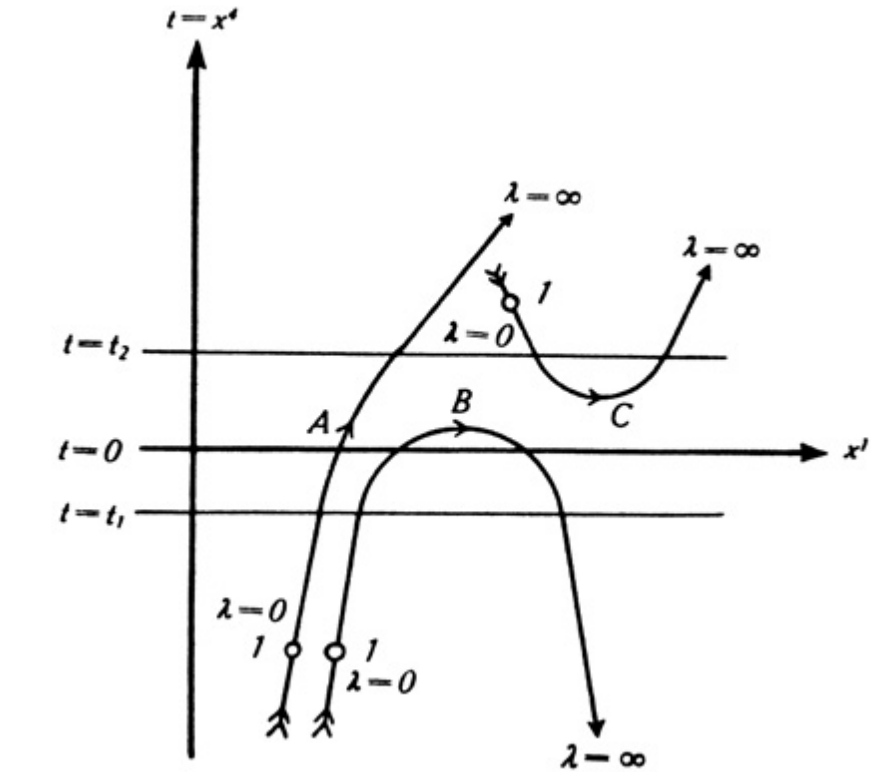


*Диаграмма из малоизвестной работы Эрнста Штюкельберга 1941 года, демонстрирующая обратно-временну**ю** функцию траекторий частиц*

На диаграммах Фейнмана электроны были изображены в виде сплошных линий со стрелочками, а фотоны — волнистыми линиями без стрелочек: направление не указывалось, так как фотон является собственной античастицей. В «Фундаментальном взаимодействии» была представлена интерпретация базового процесса электромагнитного отталкивания, описанного в любом учебнике по физике.

Два отрицательных заряда — электрона — отталкиваются. При взгляде на стандартную картинку с изображенными на ней линиями приложения сил или просто двумя шариками, катящимися в разные стороны, напрашивался вопрос: как одна

целостная система ощущает воздействие другой системы, находясь на расстоянии от нее? Можно было бы подумать, что сила передается мгновенно, но в действительности (из диаграмм Фейнмана это становилось ясно автоматически) «переносчик» силы может двигаться лишь со скоростью света. В случае электромагнетизма это и есть свет, принимающий форму «беглых» виртуальных частиц, вспыхивающих и проживающих совсем недолго — ровно столько, сколько нужно, чтобы квантовые теоретики успели написать учебник.

Естественно, в новых публикациях имелись и пространственно-временные диаграммы, на которых время изображалось как одно из направлений. Как правило, линия «прошлого» проходила внизу, «будущего» — наверху, а одним из способов прочтения этой диаграммы был следующий: рисунок накрывали листом бумаги, который постепенно сдвигали снизу вверх, наблюдая за тем, как разворачивается история. Один электрон меняет направление, излучая фотон, другой меняет направление, поглощая фотон. Даже идея о том, что сначала происходит излучение, а потом поглощение, была основана на стереотипном восприятии времени и «встроена» в язык. Фейнман подчеркивал, что его подход свободен от привычного, интуитивного восприятия, а эти события взаимозаменяемы.

Диаграмма Фейнмана «Фундаментальное взаимодействие». Это пространственно-временная диаграмма: течение времени на ней представлено снизу вверх. Если накрыть диаграмму листом бумаги и медленно сдвигать его вверх, мы увидим, как:

• пара электронов — их пути обозначены сплошными прямыми

линиями — сближается;

• при достижении точки, обозначенной цифрой 6, электрон (справа) излучает виртуальную частицу — фотон (обозначен волнистой линией); при этом электрон смещается наружу;

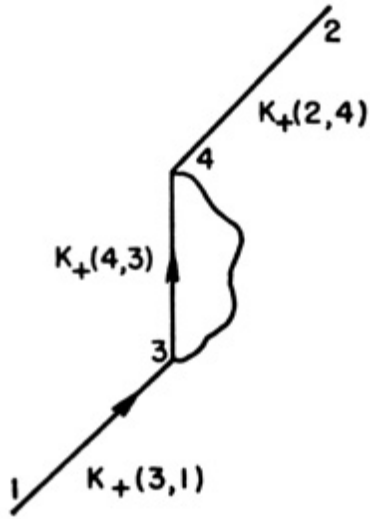
• при достижении точки, обозначенной цифрой 5, фотон поглощается другим электроном, который тоже смещается наружу.

Для его расчета необходимо суммировать амплитуды, соответствующие фейнмановским диаграммам, и сложить вклады всех путей, по которым может развиваться событие. Существующая вероятность материализации и исчезновения виртуальных частиц усложняет этот процесс. Электрон взаимодействует сам с собой — по сути, это и есть проблема самоэнергии, которая так занимала Фейнмана в работе с Уилером. Электрон излучает и поглощает собственный виртуальный фотон.

Таким образом, эта диаграмма показывает обычную (кулоновскую) силу отталкивания двух электронов как силу, переносчиком которой является квант света. Поскольку это виртуальная частица, существующая всего призрачную долю секунды, она может временно нарушать правила, управляющие системой в целом, — к примеру, закон сохранения энергии. Также Фейнман заметил, что нет оснований считать, будто фотон излучается в одном месте, а поглощается в другом: столь же правильным будет заявление, что фотон излучается в точке 5, возвращается назад во времени и поглощается в точке 6 или ***раньше****.*

Конечно, диаграмма помогает визуализировать этот процесс, но для физиков это всего лишь метод учета. Каждая диаграмма отображает сложное число — амплитуду, квадрат которой высчитывают, определяя вероятность показанного процесса.

Каждая диаграмма представляет не конкретную траекторию с определенными точками во времени и пространстве, а сумму всех таких траекторий. Были и другие простые диаграммы. Фейнман изобразил самоэнергию электрона — его взаимодействие с самим собой, — показав в виде линии фотон, возвращающийся к тому же электрону, который его выпустил. Помимо этого, он разработал целую систему диаграмм, соответствующих, как подчеркнул Дайсон, допустимым математическим операциям. Вместе с тем диаграммы могли произвольно усложняться, ведь виртуальные частицы возникали и исчезали, подобно сложной рекурсивной цепи сигналов.



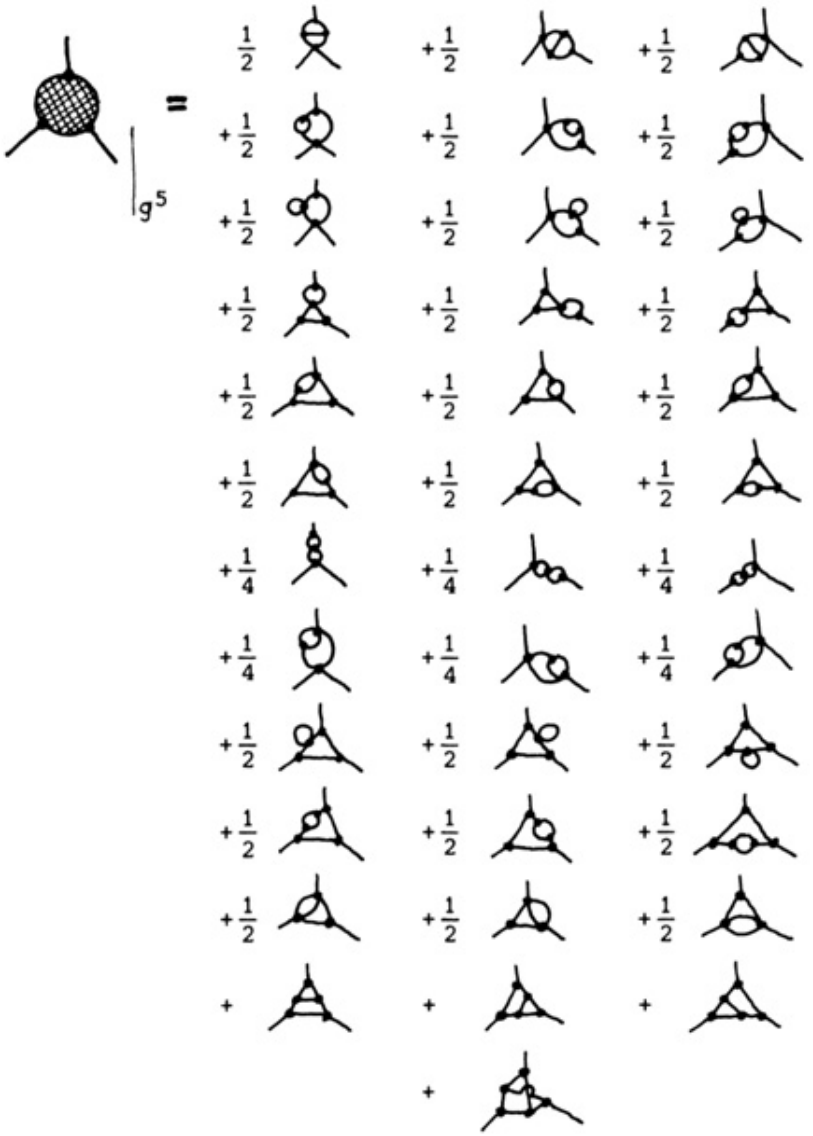
Первая Н-образная диаграмма Фейнмана, показывающая взаимодействие электронов, была единственной схемой с одним виртуальным фотоном[138]. Стоило нарисовать все возможные варианты с двумя виртуальными фотонами, как стало ясно, насколько быстро росло число комбинаций. Каждая из них вносила вклад в финальные вычисления, и расчеты для более сложных диаграмм становились все более трудоемкими. И хотя по мере возрастания степени сложности уменьшалась степень вероятности, а следовательно, и воздействие на результат, физиков ждали мучительные вычисления и целые страницы графиков, напоминающих сеть спутанных узлов. Но усилия того стоили: ведь, применив вместо диаграмм алгебраический подход Швингера, они потратили бы на вычисления целую жизнь.

Диаграммы Фейнмана изображали частицы и были порождением ума, визуализировавшего частицы. Но в теории, к которой они были привязаны, — теории квантового поля — центральное место отводилось все-таки полю. В каком-то смысле обозначенные на диаграммах пути, чью сумму высчитывали интегралы Фейнмана, были путями самого поля. Фейнман читал Physical Review гораздо внимательнее, чем прежде, выискивая цитаты из своих работ. Некоторое время на страницах альманаха царил один Швингер; развороты представляли собой скопище иероглифов, а в конце приводилась аккуратная формулировка, которая у Фейнмана (так ему казалось) была бы дана в самом начале. Он не сомневался, что засилье Швингера не продлится долго. И оказался прав. Вскоре на смену швингеровской математике пришли фейнмановский подход и фейнмановские правила. Летом 1950-го в журнале появилось исследование, на

первой же странице которого красовались миниатюрные «фейнмановские диаграммы», а в самой работе «использовался упрощенный подход, внедренный Фейнманом». Через месяц появилась еще одна статья. «Этой техникой мы обязаны Фейнману… — говорилось в ней. — Расчет элементов матрицы можно существенно упростить, пользуясь методами Фейнмана — Дайсона». Старшему поколению диаграммы казались неоправданно простыми; студенты же хотели пользоваться только ими, и это раздражало их наставников, которым казалось, что физики размахивают мечом, не отдавая себе отчет в его мощи. Когда все больше авторов научных трудов начали цитировать Фейнмана, Швингер, по его собственным словам, признал свое поражение. «Подобно кремниевой микросхеме последних лет, диаграмма Фейнмана широко распространила вычисления в массах», — говорил он. Позднее это высказывание стали считать похвалой Фейнману, пропустив мимо ушей швингеровский намек на «простонародный» характер диаграмм. Между тем Швингер и не думал хвалить коллегу. Он считал его диаграммы «педагогикой, а не физикой».

Безусловно, опыт можно анализировать, поделив его на индивидуальные топологические составляющие. Но рано или поздно картину придется свести воедино. Именно тогда дробный подход потеряет долю своей привлекательности.

Студенты Швингера в Гарварде оказались (по мнению их коллег из других институтов) в невыгодном положении. Впрочем, были подозрения, что тайком они все равно пользовались фейнмановскими диаграммами. И некоторые действительно пользовались. (Но Швингера тем не менее боготворили: его привычку вставать после полудня, его «кадиллак», безупречные лекции, подобные театральным постановкам. Они подражали его манере речи: «По сути, можно расценивать это как…» — и пытались соорудить идеальную «швингеровскую» фразу. Один из аспирантов Джереми Бернштейн предложил такой шаблон: «Хотя номинально единица не равняется нулю, по сути, можно расценивать это как…» Студентов также пугала способность Швингера бесшумно возникать рядом с их столом за обедом; в целях конспирации группа его аспирантов придумала код, в котором «Швингер» означало «Фейнман», а «Фейнман» — «Швингер».)



Выполнение все более точных расчетов, которыми в итоге прославилась квантовая электродинамика, требовало постоянных упражнений в комбинаторике

Позднее Мюррей Гелл-Манн прожил целый семестр в доме Швингера в Кембридже и любил вспоминать, что повсюду искал фейнмановские диаграммы. Ему не удалось найти ни одной, но одна из комнат всегда была заперта…

Вперед, в чудесную страну

Прошло четыре года, как Фейнман приехал в Корнелл, и Бете все больше беспокоился за него. Постоянно случались неприятные истории, связанные с женщинами: сперва Фейнман не давал им проходу, а потом бросал или пытался бросить, все меньше скрывая свои фрустрации от публики. Даже аспирантам казалось, что он меньше, чем кто-либо, похож на профессора: чаще всего его можно было увидеть отбивающим ритм на скамейке в общежитии или лежащим под машиной в масле. Он так и не нашел себе постоянного жилья. Один год прожил за счет института в студенческом общежитии. Часто ночевал или жил неделями у женатых друзей, пока те не заставали его со своими женами. Корнелл казался ему временами слишком большим, а временами слишком тесным — изолированный городок, где наука за пределами физического факультета почти никого не интересовала. К тому же пьедестал великого физика в Корнелле был навсегда закреплен за Хансом Бете.

Старый знакомый Фейнмана по Лос-Аламосу Роберт Бахер, отработав в новой Комиссии по атомной энергии, переезжал в Калифорнию, где ему поручили усовершенствовать устаревшую программу по физике Калифорнийского технологического университета. Во время летних каникул, плавая в озере на севере Мичигана, он вдруг подумал о Фейнмане, выскочил на берег и нашел его телефон. Спустя несколько дней тот уже был на месте.

Фейнман согласился приехать в Пасадену, хотя подумывал перебраться в места более далекие, теплые и экзотические. В частности, в Южную Америку. Он даже начал учить испанский. Рейсы авиакомпании Pan American открыли южноамериканский континент для американских туристов: из Нью-Йорка в Рио-де-Жанейро можно было долететь за тридцать четыре часа примерно по цене двухнедельного океанского круиза, а популярные журналы пестрели заманчивыми картинками: пальмы и плантации, жаркие пляжи и яркие ночи. В рассказах путешественников неизменно фигурировали Кармен Миранда[139] и гроздья бананов. Но помимо всего этого было кое-что еще — страх апокалипсиса, давно преследовавший Фейнмана и только сейчас охвативший все общество. В сентябре 1949 года Советский Союз произвел испытания своей первой атомной бомбы, и страх ядерной войны проник в национальное сознание, породив на волне паники движение гражданской обороны. Одним из проявлений этого страха стала эмиграция в Южную Америку. Очередная подруга Фейнмана на полном серьезе сказала ему, что

«там безопаснее». А Джон Уилер в попытке привлечь Фейнмана к работе над термоядерной бомбой заявил, что, по его оценкам, «существует сорокапроцентная вероятность начала войны в сентябре».

Когда в Принстон наведался бразильский физик Хайме Тиомно и услышал, как Фейнман учит испанский, то предложил ему переключиться на португальский и пригласил посетить новый Бразильский центр физических исследований в Рио летом 1949-го. Фейнман согласился, оформил паспорт и впервые покинул континентальную часть США. Он пробыл в Рио несколько недель, успев за это время выучить португальский достаточно хорошо, чтобы обучать физиков и клеить бразильянок на их родном языке. (К концу лета он убедил одну из них, Клотильду из Копакабаны, которая называла его Рикардиньо на сладкозвучном португальском, переехать к нему в Итаку. Впрочем, роман продлился недолго.) А в конце следующей зимы, поддавшись минутному порыву, попросил центр нанять его на постоянную работу. Одновременно он вел серьезные переговоры с Бахером. Ему надоело стоять на коленях в холодной слякоти, надевая цепи на шины, да и Калифорнийский технологический казался более заманчивой перспективой. Он напоминал ему другой технологический, Массачусетский — истинный рай для технарей. Четыре года, проведенные в гуманитарном университете, не пробудили в Фейнмане теплых чувств по отношению к нему. В письме Бахеру он признавался, что устал от «всех минусов жизни в маленьком городке, от плохой погоды», и добавлял: «Здесь преподается больше гуманитарных предметов и расширена база теоретических знаний, но все это сводится на нет апатичностью людей, изучающих эти предметы, и Колледжем домашнего хозяйства». Он предупредил Бахера об одной из своих слабостей: ему не нравилось работать с аспирантами. В Корнелле «бедняге Бете» не раз приходилось его покрывать.

«Я не хочу предлагать задачу и метод ее решения, а потом чувствовать свою ответственность за то, что студент не может справиться с этой задачей к тому времени, как его жена родит ребенка — и, следовательно, не может получить работу. В итоге мне приходится предлагать студентам методы, которые точно сработают; а единственный способ выяснить эффективность метода — опробовать его самостоятельно. Так что для меня старая поговорка о том, что “дипломная работа — это исследование, сделанное профессором в особо затрудненных обстоятельствах”, верна как никогда».

Ему полагался год академического отпуска. И он планировал сбежать — куда угодно.

Пройдут годы, и один прилежный студент, изучавший теорию поля в институте Нильса Бора в Копенгагене, напишет басню о Стране квантовых полей. *«Давным-давно (никак не вчера) жили очень юный крот и очень юный ворон. Услышав о чудесном крае под названием Страна квантовых полей, они решили отправиться туда. Но прежде чем пуститься в путь, пошли к старому филину и спросили: какая она, Страна квантовых полей?*

Ответ филина привел их в замешательство. В Стране квантовых полей, сказал он, все ходят одновременно вверх головой и вверх ногами. Там физикам нужно нечто большее, чем идеи и методы: им нужна своя версия истории, нарративные рамки, служащие для упорядочивания уже имеющихся знаний. Поэтому физики создали легенду о спонтанных поисках и открытиях; систему мифов на основе слухов и предположений. Они обнаружили, что в этом краю сложно объяснить чистую концепцию, не окружив ее сперва хотя бы фрагментами нарратива: кому принадлежит теория; какую задачу необходимо решить; какой путь ведет от незнания к знанию.

Некоторые физики пришли к выводу, что существует «физическая история» — необходимая и удобная вещь, зачастую отличающаяся от истории реальной.

Сказка о Стране квантовых полей, где Швингер был кротом, Фейнман — вороном, Бор — филином, а Дайсон — лисом, стала сатирической демонстрацией принципа, с которым физики свыклись так же быстро, как с интегралами по траекториям и фейнмановскими диаграммами: *если ты знаешь, где находишься, это вовсе не значит, что тебе известна конечная точка твоего пути. И наоборот: если ты знаешь, куда направляешься, это вовсе не значит, что ты знаешь, где находишься…*

Крот и ворон все же решили увидеть Страну квантовых полей своими глазами. И отправились туда.

Прошло несколько лет. Первым вернулся крот. Он рассказал, что в Стране квантовых полей много тоннелей. Нужно найти вход и идти по лабиринту с разветвляющимися и вновь сходящимися коридорами, пока не найдешь выход и не сможешь выбраться на поверхность. Всем показалось, что Страна квантовых полей — такое место, которое может понравиться только кроту. Поэтому никто не захотел о ней больше слышать.

Но прошло некоторое время, и вернулся ворон. Он хлопал крыльями и взволнованно каркал. Страна квантовых полей — это что-то потрясающее, рассказывал он. Там самые прекрасные виды, высокие горы, опасные переходы и глубокие долины, которые изрыты маленькими кротами, копающими свои подземные ходы. Казалось, ворон надышался веселящего газа, и многие услышавшие

его недоверчиво качали головами. Лягушки квакали: “Где строгие расчеты?” Но ворон заражал всех своим энтузиазмом.

Самым удивительным было то, что крот и ворон представили два совершенно разных описания Страны квантовых полей. Кое-кто даже засомневался, что они действительно добрались до этого мифического края. Один лишь лис, по природе своей очень любопытное существо, бегал от крота к ворону и беспрестанно расспрашивал их, пока не удостоверился, что понял обоих. И теперь в Стране квантовых полей может побывать любой. Даже улитка».

Калтех

* * *

В 1920-х годах Калифорнийский технологический институт состоял из здания инженерного и физического факультетов, химической лаборатории, актового зала и апельсиновой рощи, раскинувшейся на двенадцати гектарах пыльной засушливой земли. Кампус находился в нескольких минутах езды к востоку от процветающего городского центра Пасадены, куда съезжались «новые богачи» в поисках монументальной архитектуры. Аромат апельсинов и роз витал над домами с портиками, многие из которых могли претендовать на то, чтобы называться особняками. Они были построены в стиле приморских городков юга Испании и Италии: стены, покрытые бледной штукатуркой, красные черепичные крыши. Вскоре этот стиль станут называть калифорнийским. «В Пасадене, расположенной в шестнадцати километрах от Лос-Анджелеса, по улицам проносятся роллс-ройсы, — сообщал один из очевидцев в 1932 году. — Это один из красивейших — и, вероятно, богатейших — городков Америки». Альберт Эйнштейн зимовал здесь три года подряд, пока не решил, что Принстон подходит ему больше. Он позировал на велосипеде фотографам, к восторгу администраторов института, и, по словам Уилла Роджерса, не пропускал «ни одного обеда и ужина, ни одной кинопремьеры и свадьбы, а также посетил как минимум две трети слушаний о разводах». Даже когда Великая депрессия преуменьшила богатства жителей Пасадены, научные успехи Калифорнийского технологического лишь приумножились. В новой лаборатории полировали гигантские линзы для громадного телескопа, установленного на горе Паломар. Калтех стал американским центром систематической науки о землетрясениях; один из его молодых выпускников, Чарльз Рихтер, разработал знаменитую шкалу, названную его именем. Вскоре институт добился успехов и в аэронавтике: к 1944 году группа любителей-энтузиастов, запускавших ракеты с холмов над «Розовой чашей»[140], основала Лабораторию реактивного движения. Фонды и промышленники с радостью открыли для себя новый источник финансирования на восточном побережье США. Известный производитель кукурузных хлопьев выделил средства на строительство здания, в котором разместилась Радиационная лаборатория Келлогга. Усилиями главного эксперта лаборатории Чарльза Лауритсена она стала национальным центром фундаментальной ядерной физики. В 1930-е годы Лауритсен изучал ядерные свойства легких химических элементов — водорода и дейтерия, гелия, лития —

вплоть до углерода, фиксируя энергетические уровни и спины каждого из них при помощи разнокалиберного оборудования.

Он все еще работал в лаборатории Келлогга, когда зимой 1951 года ему начали приходить сообщения от «бразильского оракула». Примерно каждую неделю один из студентов Калтеха связывался по телефону с оператором из Бразилии и Лауритсен выслушивал лаконичные предположения: «Возможно ли, что у углерода в основном состоянии два энергетических уровня, а не один?» Ученый проверял, и вскоре оказывалось, что это правда. Видимо, у его информатора была теория на этот счет…

Ферми в Чикаго также приходили сообщения от Фейнмана: перед Рождеством тот прислал из отеля Miramar Palace в Копакабане длинное письмо, начинавшееся со слов «Дорогой Ферми». Продолжая работу, толчком к которой послужило «дело Кейза и Слотника», Фейнман занимался теорией мезонов. В ней было много путаницы и расхождений, но ему уже удалось прийти к нескольким разрозненным выводам. «Рискуя сообщить то, что, возможно, давно известно всем в США, я хотел бы сделать некоторые замечания», — писал он Ферми. И сообщал, что мезоны псевдоскалярны, а не скалярны; что теория Юкавы неверна. Он узнавал новости из лабораторий по любительскому радио — «здесь, в Бразилии, я не совсем изолирован от мира», — и у него возникали гипотезы, которые он хотел проверить. В основе его подхода к мезонам — частицам, играющим столь важную роль в структуре атомного ядра[141], — лежала вариация спина, только еще более абстрактная: новое квантовое число, которое он назвал *изотопическим спином (изоспином)*. Оказалось, что Ферми опробовал тот же подход, и Фейнман отчасти продублировал работу, проделанную им в Чикаго. Каждый своим путем они пытались решить теоретические задачи, схожие с уравнениями из квантовой электродинамики, но не поддававшиеся любимым кнутам физиков-укротителей — перенормировке и теории возмущений. «Не верьте вычислениям при исследовании мезонов, если те сделаны с помощью фейнмановских диаграмм!» — писал Фейнман Ферми. Все дальше продвигаясь внутрь ядра, физики видели, как довоенное представление о частицах рассыпается на их глазах. По мере развития науки меркли мечты о подконтрольном, конечном числе атомных «кирпичиков». Какую частицу считать элементарной в мире, где процесс деления бесконечен?

Что из чего состоит? «Дело принципа, — записал Фейнман в маленькой адресной книжке, которую везде носил с собой. — Нельзя сказать, что А состоит из В, и наоборот. Вся масса суть взаимодействие». Но это не решало проблему. На фотографиях из

облачных камер[142] просматривались разветвления и отклонения от траекторий — как будто новые мезоны появлялись прежде, чем ученые успевали изучить старые. Ферми сделал заявление в Physical Review, верно описав это нашествие частиц:

«В последние годы физики открыли несколько новых частиц, которые стали считаться “элементарными”, то есть, по сути, лишенными структуры. Но их число растет, а вероятность, что все они действительно являются таковыми, снижается.

Никто не может с определенностью заявлять, что нуклоны (протоны и нейтроны), мезоны, электроны и нейтрино — элементарные частицы…»

Фейнман совершил свой побег вскоре после приезда в Пасадену. Он принял предложение Калтеха с немедленным предоставлением академического отпуска и улетел в самое экзотическое место из возможных на Земле. Зарплату ему выплачивал Госдепартамент. Впервые с отъезда из Фар-Рокуэй он проводил дни на пляже, наблюдая за толпой в сандалиях и купальных костюмах и глядя на бесконечные волны и небо. Он никогда не видел пляж, над которым бы нависали горы. По ночам, в лунном свете, хребет Серра-да-Кариока напоминал горбы черных верблюдов. Вдоль берега и широких проспектов Рио подобно живым телефонным столбам высились королевские пальмы: они были гораздо выше калифорнийских. Фейнман отправился к морю за вдохновением. Ферми поддразнивал его: «Жаль, что я не могу освежить голову, купаясь на Копакабане». А Фейнману нравилось думать, что он содействует появлению в Бразильском центре физических исследований научного оазиса. Еще пятнадцать лет назад в Бразилии — впрочем, как и в остальной Южной Америке — физики как науки просто не существовало. Лишь в 1930-х годах в стране обосновались не слишком известные немецкие и итальянские ученые, и за десять лет их выпускникам при поддержке промышленности и государства удалось создать новую инфраструктуру.

В Рио Фейнман преподавал основы электромагнетизма студентам Бразильского университета, которые разочаровывали его своей робостью, отказываясь отвечать на вопросы. После свободомыслящих американцев бразильцы казались консервативными зубрилами. Программа университета составлялась по образцу европейской. Зарождающимся аспирантурам не хватало уверенных в себе преподавателей. Студенты не пытались докопаться до сути, а лишь запоминали то, что им говорили, — по крайней мере, так казалось Фейнману, который поставил перед собой цель переделать бразильскую систему образования в соответствии с собственными принципами.

Студенты заучивали названия и абстрактные формулы, могли процитировать закон Брюстера: «Свет, падающий на материал с показателем преломления *n*, полностью поляризуется в плоскости, перпендикулярной плоскости падения, если тангенс…» Но когда он спрашивал их, что произойдет, если посмотреть на отражающееся от вод залива солнце через поляризационную пленку, поворачивая ее под разными углами, ответом ему было молчание и растерянные взгляды. Они знали определение триболюминесценции и совершенно правильно отвечали, что это свет, излучаемый кристаллами под механическим воздействием. Однако Фейнману хотелось, чтобы профессора, вместо того чтобы заставлять своих учеников заучивать определения, отправили их в темную комнату с кусочком сахара или карамелькой и плоскогубцами и предоставили им возможность своими глазами увидеть эту слабую голубую вспышку — совсем как он сам когда-то в детстве! «Разве это наука? Нет! Вы просто объясняете значение одного слова с помощью других. Но вы не рассказываете о природе явлений: какие кристаллы излучают свет и почему они его излучают в момент сжатия?» В экзаменационном билете был вопрос: «Назовите четыре вида телескопов». Студенты давали верные ответы, но ни у кого не было истинного понимания, чем на самом деле являлся телескоп — инструментом, который помог начать научную революцию и открыл человечеству невероятные масштабы звездного пространства.

И еще о словесных определениях: Фейнман, презирающий такой способ познания, по возвращении в Соединенные Штаты нашел его укоренившимся и в американском образовании. Это проявлялось не только в привычках студентов, но и в засилье викторин, научно-популярных книг из серии «все, что вам нужно знать о…», в структуре учебников. А ему хотелось, чтобы люди разделяли его активный подход к знаниям. Сидя за столиком в кафе, он навострял уши и ловил звук, издаваемый кусочком сахара, когда тот опускался в стакан с ледяным чаем, — нечто среднее между шипением и шуршанием. Стоило кому-то спросить, как называется этот феномен, или попросить описать его, Фейнман взрывался от счастья. Он относился с уважением лишь к подходу человека незнающего, смотрящего на мир глазами первооткрывателя. Попробуй опустить сахар в воду, в теплый, сладкий или соленый чай… и вода зашипит, а потом запузырится. Пробы, ошибки, открытия, свобода познания.

Стандартизированное знание вызывало неприязнь не только своей пустотелостью. Зубрежка отнимала у науки все, что, по его мнению, было в ней ценного: дух изобретательства, привычку

выискивать более совершенный способ действия. Знание же, которое он считал «своим» и которое было основано на опыте, давало «чувство стабильности и реального понимания мира» и избавляло от «многих страхов и предрассудков». Он стал задумываться о том, что такое наука и что такое знание, а пока делился своими размышлениями с бразильцами:

«Наука дает инструменты познания того или иного явления; она помогает выяснить, где границы ныне известного (ибо ничто не может быть известно с абсолютной вероятностью), как справляться с сомнениями и неопределенностью, каковы законы вероятности, как размышлять о вещах и выдвигать суждения, как отличать истину от подделки и очковтирательства».

У любого телескопа — ньютоновского или кассеграновского — существуют изъяны и ограничения, но вместе с тем этот прибор имеет славную историю. И хороший ученый — даже теоретик — должен знать об этом.

«Сброд из Копакабаны»

Фейнман утверждал, что у него нет слуха и что среди множества музыкальных стилей ему не нравится почти ни один; этим он опровергал расхожее мнение, будто люди, наделенные способностями к математике, часто бывают одаренными музыкантами. Классическая музыка в европейской музыкальной традиции казалась ему не только скучной, но даже неприятной. Больше всего его раздражала необходимость сидеть и слушать.

Но те, кто работал рядом с Фейнманом, часто ощущали биение внутри него музыкальной пульсации: казалось, она накапливалась в нем, в его нервных окончаниях и прорывалась наружу, наполняя пространство рабочего кабинета. Занимаясь вычислениями, он беспрерывно отбивал ритм, а на вечеринках барабанил, собирая вокруг себя толпы. Филип Моррисон, с которым у Фейнмана был общий кабинет в Корнелле, наполовину в шутку, наполовину всерьез говорил, что Фейнман так любит барабанить, потому что у него длинные пальцы, а еще потому, что это занятие было шумным, резким и делало его похожим на фокусника. Моррисон отмечал, что в XX веке классическая западная музыка стала определенно скучной, так как из всех музыкальных традиций мира западная наиболее решительно отказалась от импровизации. В эпоху Баха игра на клавишном инструменте означала, что один человек сочетал в себе роли композитора, исполнителя и импровизатора. Даже сто лет спустя исполнители давали себе волю и экспериментировали, пускаясь в каденции посреди концерта, а Франц Лист в конце XIX века сочинял музыку непосредственно в процессе ее исполнения, настолько быстро, насколько это возможно для пианиста; он «слышал» вариации и украшения, а также ложные шаги и тупиковые фразы, из которых ему приходилось выпутываться, подобно Гудини. Это придавало его концертам увлекательность спортивных состязаний. Импровизация означала риск непопадания в ноты. В современной же практике, если оркестр или струнный квартет за час выступления фальшиво сыграет пять нот, это уже считается некомпетентным исполнением.

Так и не вливших в западную «культуру технарей», царившую в МТИ, и отвергнув гуманитарный Корнелл с его свободолюбивой культурой, Фейнман наконец нашел свое место в Бразилии. Для многих американцев, физиков в том числе, путешествия ассоциировались прежде всего с европейскими столицами. Фейнман впервые побывал в Европе в возрасте тридцати двух лет, когда его пригласили на научную

конференцию в Париже. А на улицах Рио он проникся атмосферой третьего мира и в особенности музыкой, сленгом и искусством, о котором не писали в учебниках и которому не учили в школах — по крайней мере, в американских. И потом до конца жизни он предпочитал путешествовать по Латинской Америке и Азии, став одним из первых американских физиков, отправившихся в турне по Японии; там он тоже поехал в глубинку.

В Рио Фейнман открыл для себя живую музыкальную традицию, сердцем которой был ритм, импровизация и страстная динамика. Слова «самба» не было в «Британской энциклопедии», но от звуков труб, гонгов и перкуссии дребезжали окна на набережной. Бразильская самба родилась из африканской и латинской, она соединила стиль трущоб и бальных залов; ее играли на улицах и в ночных клубах, а музыканты в шутку называли себя представителями той или иной «школы». Фейнман стал *самбиста* — музыкантом, исполнявшим самбу. Он записался в местную школу «Ош Фарсантес де Копакабана»: буквально это переводилось как «Комедианты из Копакабаны», но Фейнман предпочитал называть свою группу «сбродом из Копакабаны». У них были трубы и укулеле, трещотки и маракасы, малые и большие барабаны. Он пробовал играть на *пандейру* — тамбурине, звук которого по четкости и вариативности мог сравниться с барабанным, но в итоге остановился на *фригидейре*. Этот инструмент представлял собой металлическую пластину, с помощью которой нужно было издавать легкий, стремительный звон в такт основному ритму и в промежутках. Он звучал одинаково уместно и во взрывных джазовых абстракциях, и в заезженных поп-шлягерах. Местные играли на фригидейре, производя искусные движения запястьями, которые Фейнману давались нелегко; но в конце концов он овладел инструментом достаточно профессионально, и его даже начали приглашать на выступления и частные концерты как оплачиваемого музыканта. Он играл с «иностранным акцентом»; другим музыкантам это казалось необычным и очаровательным. Он участвовал в пляжных музыкальных состязаниях, в уличных шествиях, которые часто возникали в Рио на ровном месте и перекрывали движение. Кульминацией года для всех *самбиста* в Рио был февральский карнавал — безудержный праздник плоти, когда местные жители — полуобнаженные или в костюмах — заполоняли улицы города. На карнавале 1952 года, среди шуршащей креповой бумаги, громадных бус и гуляк, которые высовывались из окон трамваев, звеня колокольчиками и вторя ритму самбы, фотограф из местного журнала — бразильского аналога Paris Match — запечатлел пирующего американского физика, наряженного

Мефистофелем.

Какой бы бурной ни была жизнь Фейнмана в Рио, он чувствовал себя одиноким. После войны физика стремительно развивалась, и тонкой связующей ниточки в виде любительского радио уже не хватало, чтобы быть в курсе событий. Ему почти никто не писал — даже Бете. Той зимой он много пил, так много, что как-то раз, испугавшись последствий, поклялся себе больше никогда не употреблять алкоголь. Он подцеплял женщин на пляже и в ночных клубах и стал завсегдатаем открытого бара в патио отеля Miramar, где общался с экспатриантами из Америки и Великобритании. Но лица все время менялись, никто не задерживался надолго. Он приглашал на свидания стюардесс Pan American: те коротали время между рейсами, останавливаясь на четвертом этаже Miramar Palace. А потом, поддавшись опрометчивому импульсу, предложил руку и сердце женщине, с которой встречался в Корнелле.

Увы, любовь!

[143]

Известный антрополог Маргарет Мед недавно высказала мысль, уже мелькавшую во многих популярных журналах: в ритуалах ухаживания, свойственных американской культуре, настало время перемен. Изучив рекламные щиты и сюжеты кинофильмов, Мед заявила: «В этом вопросе исчезла определенность; повсюду я вижу попытки сформировать новую традицию…»

Каждая влюбленная пара сталкивалась с сомнениями: какими должны быть следующие шаги в этом танце взаимоотношений мужчины и женщины, который развивается не по устоявшимся правилам и не в соответствии с традиционным сюжетом, — в этом балете, где движения нужно изобретать на ходу? Когда он настаивает, должна ли она поддаваться, и если да, то насколько? А если она слишком требовательна, должен ли он сопротивляться, и насколько решительно?

Порой Фейнман оценивал свою манеру общения с противоположным полом с такой же беспристрастностью антрополога. После смерти Арлин он добивался женщин с прямотой, нарушавшей большинство общественных (а для кого-то и личных) принципов любовного балета. Он встречался со студентками, ходил в бордели и платил проституткам, научился (как ему казалось) обводить вокруг пальца девушек, раскручивавших мужчин в баре на напитки, и переспал с женами нескольких своих друзей-аспирантов. Он говорил коллегам, что у него свой подход к сексуальной морали — принцип «всеобщей справедливости» — и он использует женщин так же, как они стремятся использовать его. Любовь он считал мифом, разновидностью самообмана, рациональным шагом или уловкой, которой пользуются женщины, чтобы найти мужа. Свои чувства к Арлин он словно на время решил забыть, убрать на дальнюю полку.

Женщины твердили, что любят его за его ум и внешность, за умение танцевать и внимательно слушать, за то, что он всегда пытался их понять. Им нравилось общество его друзей-интеллектуалов. Они понимали, что работа для него стоит на первом месте, и это им тоже нравилось. (Хотя Роуз Макшерри, девушка из Нью-Мексико, с которой у него был бурный роман по переписке в разгар его исследований квантовой электродинамики, была страшно недовольна, когда по возвращении с конференции в Поконо он написал ей, что работа

всегда останется его первой любовью. Роуз ответила, что никогда бы не согласилась выйти замуж за человека, которому нужна прислуга, а не жена. Порой ее тревожило его отношение к женщинам как к развлечению. Ей хотелось думать, что он работает ради нее.) Многие хотели бы стать его музами.

Когда правила игры изменились, любовницы Фейнмана оказались в затруднительном положении. О внебрачных связях тогда говорили языком неуклюжих эвфемизмов и старомодных ярлыков («поматросил и бросил», «бабник», «гулящая»), роли участников были жестко определены и нелестны для обоих. В первое же лето, проведенное Фейнманом в Корнеллском университете, женщина, которую он встретил в Скенектади, намеками дала ему понять, что забеременела, но избавилась от ребенка. «Я неважно себя чувствовала — что мне несвойственно, — и ты, наверное, догадался, почему». Она писала это письмо, зная, что он возобновил отношения с «ненаглядной Роуз». Ей следовало бы его за это возненавидеть, но она не хотела стричь всех мужчин под одну гребенку: видимо, он просто «не влюблен» в нее.

«Я почти завидую тому удивительному и абсолютному счастью, которое ты, должно быть, испытывал, когда твоя жена была жива. Разве возможно пережить подобное чувство дважды в жизни?»

Кроме того, она предостерегала его, сардонически отмечая, что *ему-то* наверняка знакомы строки Байрона:

> Увы, любовь! Для женщин искони
> Нет ничего прекрасней и опасней:
> На эту карту ставят жизнь они.
> Что страсти обманувшейся несчастней?
> Как горестны ее пустые дни!
> А месть любви — прыжка пантер ужасней!
> Страшна их месть! Но, уверяю вас,
> Они страдают сами, муча нас![144]

А в постскриптуме к письму замечала, что он написал ее имя с ошибкой.

В то время женщины уже начали составлять конкуренцию мужчинам на рабочем месте, и война лишь усилила эту тенденцию. Вместе с тем общественное мнение по-прежнему считало создание домашнего уюта главной ролью представительниц прекрасного пола. Работающих женщин, особенно в науке, все еще было немного. Автор материала, опубликованного в журнале Physics Today, описывал связанные с

этим сложности с трезвой позиции человека, более десяти лет проработавшего учителем физики в Брин-Мар[145]. В колледже по этому поводу сочинили песенку:

> Скажите, каково учить этих девчонок?
> И есть ли там мозги, внутри их головенок?
> Серьезно ли они намерены учиться?
> И может ли у них все это получиться?

По замыслу редакторов, статья была написана в легком тоне. Автор не без сочувствия заявлял, что главным и самым серьезным препятствием в физике для женщин является их собственная «склонность подчиняться мужчинам с более высоким, чем у них, статусом». Тем временем работодатели продолжали считать первоочередной задачей женщин замужество и воспитание детей. Публикации женщин-ученых в Physical Review были большой редкостью.

В своем исключительно мужском мире ученые-физики еще меньше, чем американские мужчины в целом, были склонны искать в сексуальных отношениях интеллектуальное партнерство. Некоторые, впрочем, искали. В европейской традиции, где статус профессора означал принадлежность к определенному классу и культурной среде, жены ученых, как правило, имели то же социальное происхождение, что и их мужья. Например, Ханс Бете женился на дочери физика-теоретика. Но в американском «культурном котле» наука стала способом пробиться наверх для детей бедных эмигрантов. Не все были выходцами из академической среды. Фейнман, равных которому в тех далеких интеллектуальных высотах, где он обитал, все равно бы не нашлось, встречался только с очень красивыми женщинами, часто с блондинками, ярко накрашенными и вызывающе одетыми (по крайней мере, так казалось женщинам, с которыми он не встречался). Женщины редко интересовали его как собеседницы для обсуждения профессиональных вопросов, хотя некоторые пытались таковыми стать. «Я каждый день узна*ю* о физике все больше и понимаю, что мне еще учиться и учиться, — писала одна из его любовниц. — Почему-то эта область вызывает у меня страшный интерес». Правда, она подозревала, что ее возлюбленный уже нашел себе новую пассию. У нее, так же как и у всех, кто был до и после нее, имелся один непростительный недостаток, и кое-кто о нем догадывался: ни одну из них не звали Арлин Гринбаум, и никто из них не был его Джульеттой, его единственной любовью, недосягаемым совершенством, девушкой, умершей прежде, чем повседневность, быт и повторяющиеся изо

дня в день и из года в год реалии обычной жизни разбавили цвет и тон идеальной романтической картинки.

Порой Фейнман испытывал потребность упорядочить отношения с женщинами. Ему нравилось разрабатывать правила и приводить всё в систему. Он устал от собственных льстивых речей, уговоров, обещаний. А так как он терпеть не мог извиняться, то взял на вооружение любимый принцип Арлин. «Мне кажется, ты прилагаешь слишком много усилий к тому, чтобы девушка не подумала о тебе плохо, — заметил он самому себе после одного особенно неприятного случая. — Какая разница, что она о тебе подумает? Да, тебе не должно быть безразлично, обидел ты ее или нет — по возможности старайся никого не обижать, — но если ты не испытываешь никаких угрызений совести, не нужно убеждать ее в обратном и внушать ей, что ты прекрасный человек… Мало того, если ты эгоист и думаешь лишь о своем физическом удовольствии, не пытайся убедить себя в обратном и не морочь ей голову».

Он любил рассказывать истории о своих барных похождениях, в частности, как он разгадал схему поведения девушек в баре. Девушка флиртует с посетителем, тот покупает ей напиток, после чего она переходит к следующему. «Как такое возможно, — рассуждал он, — что, придя в бар, умный парень становится полным болваном?» Сперва он тоже был новичком, наивным неопытным антропологом; даже его манера заказывать виски и воду в отдельных стаканах вызывала интерес. Он наблюдал за тем, как женщины раскручивали его на коктейли с шампанским. В отместку он придумал новый свод правил: главное — относиться к ним с полным пренебрежением. Это психологическая война. «Ты хуже проститутки», — сказал он одной из «барных девочек» после того, как купил ей сэндвичи и кофе за доллар десять центов. В награду она переспала с ним и вернула долг. Справедливость восторжествовала.

Фейнман рассказывал подобные истории всем женщинам, с которыми встречался. Его рассказы были смешными и убедительными, хоть и звучали слишком хорошо, чтобы походить на правду. Но никто ни разу не подловил его на лжи. Как и многие хорошие рассказчики, обнаружив у себя талант «травить байки» — удерживать внимание аудитории, когда присутствующие не могут оторвать от тебя глаз, — он оттачивал репертуар, и его не слишком заботило, что среди слушателей найдется кто-то, кому он уже рассказывал свою историю. Впрочем, их это тоже не волновало. Его байки, смех, умение танцевать и способность, находясь с человеком наедине, полностью концентрировать на нем свое внимание, притягивали

женщин, хотя сердце у этого Казановы по-прежнему оставалось холодным. Женщины Фейнмана порой очень страдали; он причинял им сильнейшую боль. Вот уже вторая из его пассий завуалированно сообщила ему о том, что сделала аборт: «То, что произошло, страшно, жестоко и принесло мне ужасное горе; такое случается раз на два миллиона… Наверняка ты и подумать не мог, что внезапный порыв (или самая короткая его часть) будет иметь такие последствия, но, как я уже говорила, расплачивается всегда невинный» — и так далее. Позднее она просила прощения за все те вещи, которые наговорила ему тогда.

Женщины почти сразу прощали ему всё. Они любили перечислять его достоинства, а одна даже составила такой список:

1. Красив (может быть).
2. Умен (он так считает).
3. Высокий (очень).
4. Хорошо одевается (аккуратен).
5. Чудесно танцует (научился у проститутки в Мехико).
6. Играет на барабанах (потрясающе!).
7. Обаятелен (до жути!).
8. Остроумен (мягко говоря).
9. Приятен в общении (чрезвычайно).
10. Мил (иногда).

В зарубежных командировках он вел такую активную сексуальную жизнь, что принимающие стороны вскоре стали считать само собой разумеющимся, что его следует с кем-то познакомить. В Лондоне его ждали Полин и Бетти, в Париже — Изабель либо Марина, в Амстердаме — Марика или Дженни. Они встречались какое-то время, а потом через кого-нибудь из своих знакомых Фейнман передавал девушке прощальное письмо примерно такого содержания: «Моя любовь к тебе столь велика, что я убежден: мы могли бы быть бесконечно счастливы… Пожалуйста, всегда, даже на закате своей жизни, помни о том, что где-то в мире есть сердце, любящее тебя. Я тоже никогда тебя не забуду: ведь ты единственный человек, с которым мне было так легко и спокойно».

Женщины по-разному относились к этим мимолетным романам. Одни в шутку предупреждали, чтобы он не разбивал слишком много сердец, иначе его ждут неудачи во всех проектах — «будь то блондинки, математика или физика!» Другие намекали, что могут внезапно появиться на его пороге: мол, Луну с неба «его колдунья» достать не в состоянии, но до США долететь — вполне. Умоляли: «Раз уж у тебя такая работа, раздобудь атомную метлу, которая домчит меня из Европы

до Калифорнии за пару часов». Обвиняли в «интеллектуальном нарциссизме», в том, что любому обществу он предпочитает собственное. Вслух размышляли о том, что для него значит семья и не чувствует ли он себя одиноким хоть немного.

Но Фейнман действительно был одинок. Его друзья так и не поняли, почему он в конце концов остановил свой выбор на Мэри Луиз Белл из Неодеши. Они познакомились в столовой в Корнелле, и Мэри Лу, «как прилипчивая кошка» (по словам его друзей), увязалась за ним в Пасадену. Наконец, будучи в Рио, он сделал ей предложение в письме, и она согласилась. Друзья описывали ее как платиновую блондинку («девушка с целлофановыми волосами» — одно из многих недобрых прозвищ, которое ей дали за спиной у Фейнмана), надевавшую на пикники туфли на высоких каблуках и узкие белые шорты. Им казалось, что она старше его (хотя на самом деле разница в возрасте составляла всего несколько месяцев). Еще до свадьбы, в переписке, будущие супруги начали спорить, сколько потратят на обстановку дома, и препираться по поводу того, что он вечно ходит в старье. Мэри Лу считала ученых занудами и не скрывала этого. Она изучала историю мексиканского искусства и текстиля — предмет достаточно экзотический, чтобы вызвать интерес у Фейнмана. Пока он был в Бразилии, она преподавала в Мичиганском государственном университете — вела курс по истории мебели и интерьеру общественных помещений. Ее студентами были в основном мужчины, работавшие в гостиничной и ресторанной индустрии. «Как правило, девушки, ведущие такие курсы, рано или поздно выходят за одного из своих учеников», — писала она Фейнману.

Они поженились, как только он вернулся из Бразилии — в июне 1952 года; медовый месяц провели в Мексике и Гватемале, где взбирались на пирамиды майя. Он веселил ее, но в то же время пугал своим, как ей казалось, бурным темпераментом. Однажды они ехали по шоссе, и Мэри Лу пожаловалась, что ее раздражает сломанный солнечный козырек. Ричард достал отвертку и, бросив руль, на ходу починил козырек; она не знала, что и подумать. У друзей Фейнмана складывалось впечатление, что жена его не ценит, пилит, придирается к его манере одеваться; они даже выявили закономерность: если на Фейнмане галстук, значит, супруга где-то рядом. Она любила распространяться о том, что ее муж недостаточно «цивилизован» и потому не любит музыку; говорила, что ей иногда кажется, будто она вышла за невежду с докторской степенью.

У Фейнмана была квартира в бунгало рядом с институтом; оттуда они переехали в дом побольше — в Альтадену, пригород у

северной границы Пасадены. С другими физиками Мэри Лу общалась неохотно. Однажды Фейнман даже упустил шанс увидеть Нильса Бора, когда тот ненадолго заезжал в Пасадену: за ужином Мэри Лу сообщила, что забыла сказать о приглашении «этого старого зануды» встретиться. В политике она придерживалась крайне консервативных взглядов, в отличие от Фейнмана и большинства его коллег, голосовавших за республиканцев. Когда начались слушания по делу Оппенгеймера, она заявила: «Нет дыма без огня», чем сильно разозлила мужа. Их развод был неизбежен: вскоре после женитьбы Фейнман понял, что им не следует заводить детей, и признался в этом сестре. Но расстались они лишь через четыре года.

В соглашении о разводе он признался в «чрезвычайной жестокости»:

«…умышленно, неправомерно и без провокаций, оправданий и поводов причинил серьезный физический и моральный ущерб… истице пришлось терпеть физическую боль и сильнейшие моральные страдания, и нервное потрясение ее было настолько велико, что дальнейшие супружеские отношения между истицей и подзащитным не представляются возможными».

Фейнман согласился выплатить Мэри Лу алименты в ограниченном объеме — десять тысяч долларов на протяжении последующих трех лет. Она оставила себе их «олдсмобиль» 1950 года и всю мебель. Ему достался «Линкольн Космополитан» 1951 года, научная библиотека, «все барабаны и перкуссионные инструменты» и набор тарелок, подаренный матерью. О разводе мимоходом писали в газетах — не потому, что Фейнман был такой уж знаменитостью, а потому что характер «чрезвычайной жестокости» казался колумнистам и карикатуристам весьма забавным: «Профессор играет на бонго и решает уравнения в постели». «Грохот от барабанов стоял жуткий, — заявила жена в суде. — Стоит ему проснуться, как он принимается за вычисления… Он все время занят расчетами: за рулем, в гостиной, ночью в постели».

Накануне Дня благодарения в 1954 году, с приближением южнокалифорнийской зимы (в этих краях наступление зимы совершенно не влияло на смену погоды), к северным холмам, укрывавшим Пасадену, подошел смог из Лос-Анджелеса, и в какой-то момент взаимные разногласия супругов достигли предела. От смога у него возникла резь в глазах; Мэри Лу жаловалась, что ей не видна красивая разноцветная листва. Фейнман написал Бете, умоляя взять его на прежнее место работы и сообщая, что согласен на любой гонорар. Его поражение

было безоговорочным.

Немного позже до него дошли новости об открытии, которое сделал Вальтер Бааде, астроном из обсерватории Маунт-Вилсон, расположенной в горах Сан-Гейбриел. Бааде доказал, что звезды в отдаленной вселенной в несколько раз старше, чем считалось до этого. Тогда же один молодой микробиолог рассказал Фейнману о совершенном им прорыве: ему удалось подтвердить фундаментальную несократимость молекулы ДНК, наблюдая за делением бактерий. Таким образом, в 1950-х годах Калтех превращался в международный научный центр, в котором не только проводились космологические исследования, но и зарождалась молекулярная генетика — ведь именно здесь работали Лайнус Полинг и Макс Дельбрюк. Тем временем Бете хоть и обрадовался письму Фейнмана, но вынужден был сообщить, что Корнеллский университет может предложить ему лишь временное назначение.

И Фейнман снова передумал. Осенью умер Энрико Ферми, и Чикагский университет был готов пойти на любые меры, лишь бы нанять Фейнмана. Декан отделения физических наук Уолтер Бартки и молодой физик Марвин Голдбергер (который впоследствии станет президентом Калтеха) отправились в Калифорнию на поезде (Бартки страдал аэрофобией) и прямо от вокзала взяли такси до дома Фейнмана. Но тот отказался рассмотреть их предложение и умолял даже не называть зарплату, которую они готовы предложить. Он волновался, что, узнав сумму, Мэри Лу станет настаивать на переезде. А он уже всё решил. Он остается в Калтехе.

И снова к физике

Каковы же были дальнейшие шаги в мире квантовой электродинамики после стольких открытий?

Фейнман достиг своей научной зрелости в тот момент, когда сообщество физиков-теоретиков трудилось над решением одной из важнейших проблем; этот узел был настолько плотным, что наука едва ли могла двигаться вперед, не развязав или не разрубив его. Теперь, с решением главной задачи квантовой электродинамики, ни одна другая проблема не казалась столь же непреодолимо притягательной. Большинство физиков-теоретиков принялись высчитывать всё меньшие атомные расстояния и времена жизни новых частиц. Отчасти они руководствовались логикой, подсказанной опытом прошедшего столетия: каждый новый шаг в изучении атомного ядра не только приводил к новым открытиям, но и облегчал задачу. Когда-то мощной унифицирующей системой была таблица Менделеева; сейчас она казалась больше похожей на таксономический перечень, в основе которого лежали более глубокие принципы, раскрывавшиеся лишь по мере продвижения внутрь атома. Такими рассуждениями были пронизаны статьи в популярных физических журналах того времени, публикации физиков и журналистов; расхожими словами стали *фундаментальный, компоненты вещества, строительные кирпичики природы; потаенные святилища материи*. Эти фразы вызывали в воображении волнительные картины. Другие ветви науки тоже изучали законы природы, но приоритет почему-то закрепился за охотой на элементарные частицы.

Рост престижа физики частиц также был связан с мощной финансовой поддержкой военного сектора. Процветали те лаборатории, где разрабатывалось оружие; госструктуры вроде «Управления военно-морских исследований» финансировали конкретные исследовательские проекты в области вооружений.

Интерес со стороны военного ведомства сыграл на руку многим прикладным наукам от электроники до криптографии. Но ученые-теоретики с самого начала осознавали, насколько опасно позволять армии руководить направлением научных исследований. «Когда наука вынуждена довольствоваться крошками со стола программы оружейных разработок, в ней неизбежно воцаряется удушающая атмосфера военной секретности, — говорил новый президент Калтеха Ли Дюбридж. — Такая наука обречена, хотя на крошках очень даже можно прожить». Военные тоже это понимали. Наследием Манхэттенского проекта — одним из многих — стала вера

генералов и адмиралов в исследовательскую догму: если ученых оставить в покое и дать им возможность следовать своей интуиции, эта курица начнет нести золотые яйца. Атомная бомба возникла в результате игры воображения — в этом уже никто не сомневался. Теперь ученые, занимавшиеся чистой физикой, стремились исследовать силы и частицы еще более необыкновенные, чем те, что были заключены в атомной бомбе, а общественность и правительство всецело их в этом поддерживали. В институтах вроде Калтеха при Дюбридже громадные правительственные гранты получали даже теоретические исследовательские программы по физике частиц. Профессора подавали групповую заявку на грант; полученные деньги шли на гонорары, стипендии аспирантам, кабинетные и накладные расходы. Даже при отсутствии прямого финансирования военное ведомство активно поощряло работу гигантских циклотронов, бетатронов, синхротронов и синхроциклотронов. Ни один сотрудник экспериментальной лаборатории до войны не смог бы предположить, что когда-нибудь такой расход стали и электричества будет одобрен и получит поддержку. И финансировались ускорители даже не за счет крошек со стола военных разработок, а за счет незаполненных чеков от чиновников, убежденных, что физики могут сотворить чудо. Кто сказал, что свободная энергия, путешествия во времени, антигравитация невозможны?

В 1954 году министр армии США пригласил Фейнмана на должность платного консультанта военной научной группы. Тот согласился и в ноябре на несколько дней приехал в Вашингтон. На приеме после одного из заседаний генерал признался, что армии сейчас нужнее всего танк, который мог бы использовать песок вместо топлива.

В том же году Фейнману в Пасадену позвонил председатель Комиссии по атомной энергии адмирал Льюис Страусс и сообщил о присуждении ему Премии Эйнштейна — золотой медали и пятнадцати тысяч долларов. Это был первый в его жизни крупный приз. Фейнман стал третьим лауреатом премии после Курта Гёделя и Джулиана Швингера. Страусс только известил о награде (Фейнман рассмешил его, воскликнув: «Вот те на!»), обнародовал же новость Оппенгеймер, занимавший тогда пост директора Института перспективных исследований. До Фейнмана не сразу дошло, что это тот самый Страусс, который, выполняя приказ президента Дуайта Эйзенхауэра, в свое время пытался изолировать Оппенгеймера и навсегда вычеркнуть его из общественной жизни. Президент закрыл Оппенгеймеру допуск к секретной работе после письма Дж. Эдгара Гувера, называвшего

именитого ученого «упертым коммунистом» и, вероятно, вражеским шпионом (в то время такие обвинения не были редкостью). Слушания по делу Оппенгеймера в Комиссии по атомной энергии начались в апреле и продлились четыре недели. Многие физики публично защищали человека, который в последнее десятилетие служил для них объектом восхищения и подражания. Исключением стал Теллер, заявивший, что Оппенгеймер не поддержал проект создания водородной бомбы. Давая показания, он аккуратно подбирал слова: «По моему разумению, насущные интересы нашей страны должны находиться в руках человека, которого я лучше понимаю и которому мог бы доверять». Это выступление имело разрушительные последствия для Оппенгеймера. В сложившихся обстоятельствах Фейнману не улыбалась перспектива получения награды от Страусса. Но Раби, приехавший в Калтех с визитом, посоветовал все же принять ее. «Не стоит отвечать мечом на щедрость, — вспоминал потом Фейнман слова Раби. — Даже если у человека много пороков, не следует превращать его добродетель в орудие против него самого».

В атмосфере страха, воцарившейся среди ученых-ядерщиков, заработала невидимая агентская сеть. Шпионы расспрашивали друзей детства и соседей, старательно выявляя очевидные факты, и по слухам пытались понять, кто кому нравится, а кто кого ненавидит и в случае чего может стать доносчиком. Дело, заведенное на Фейнмана в ФБР, с каждым днем становилось объемнее. В 1950 году его друга по Лос-Аламосу Клауса Фукса посадили за шпионаж в пользу Советского Союза. К счастью для Фейнмана, в бюро не догадывались, как часто он одалживал у друга машину. В деле отмечалось, что однажды он произнес речь в Храме Израилевом в Фар-Рокуэй, где «говорил о братстве и братских чувствах». Его характеризовали как застенчивого, замкнутого интроверта. Соседи поручились за него и выразили сомнение в том, что в старших классах он состоял в Лиге социалистической молодежи — организации, описанной ведущим агентом как «агрессивная прокоммунистическая студенческая группировка». Бете преследовал чиновник из Министерства торговли, добиваясь характеристики Фейнмана с точки зрения его преданности своей стране. В конце концов Бете коротко ответил: «Профессор Фейнман — один из ведущих мировых физиков-теоретиков. Его преданность Соединенным Штатам не подлежит сомнению. Любые дальнейшие расспросы на эту тему считаю оскорбительными для доктора Фейнмана».

ФБР обнаружило «контакт Оппенгеймера и некоего Файнмана (фонетическая транскрипция)» и сделало вывод, что «данный

“Файнман” на самом деле субъект по имени Ричард Фейнман». Официальные лица обсудили возможность привлечения Фейнмана в качестве тайного информатора, который свидетельствовал бы против Оппенгеймера. Одобрение было получено, но вскоре Фейнмана поместили в список «неконтактных»: он отказался говорить с бюро о чем бы то ни было. Агенты опросили его коллег из Лос-Аламоса; те отзывались о нем как о «вундеркинде» с «превосходным характером». Однако потом выяснилось, что Фейнман рассказывал, как он «перехитрил» психиатров из военкомата, чтобы получить свидетельство о непригодности к военной службе. Один из коллег назвал его сумасбродом. Другой заметил, что интерес Фейнмана к джазовой музыке не соответствует статусу профессора физики. В то же время, по словам информаторов, Фейнман голосовал за Эйзенхауэра, определял свои политические взгляды как «независимые» и «не питал абсолютно никакого уважения к русским». Агенты ФБР прочесали даже газетные статьи, освещавшие его развод.

Помимо прочего, обнаружилась еще одна странность: «Фейнман довольно хорошо научился взламывать сувальдные замки и замки с защелкой с помощью шпилек и кусков проволоки… Он хотел разобраться в механизме работы сейфовых замков».

Информатор, сообщавший эти сведения, тут же добавлял, что «это ни в коем случае не свидетельствует о криминальных склонностях Фейнмана, а является лишь одним из проявлений блестящего математического ума, столкнувшегося с задачей, решить которую не под силу обычному человеку». Агент, читавший доклад, попытался понять позицию информатора, но взрывоопасная комбинация фраз «*открывал сейфы с секретными сведениями, касающимися ядерного оружия*» и «*общался с Клаусом Фуксом*» неизбежно привлекла внимание анонимных авторов меморандумов, специальных запросов и секретных внутренних писем, из-за которых дело Фейнмана в последующие годы распухло до невероятной толщины.

Это был не единственный случай, привлекший особое внимание бюро. Академия наук СССР пригласила Фейнмана в Москву на конференцию, где у него был шанс познакомиться с великим Львом Ландау и другими русскими физиками. Вопросы ядерной физики и сферы ее секретного применения не входили в программу конференции, однако как раз в это время лучшие советские ученые занимались ядерными разработками, стремительно нагоняя американцев. В 1953 году русские взорвали над Семипалатинском (нынешний Казахстан)

усовершенствованную портативную термоядерную бомбу. (Ее главный разработчик, будущий диссидент Андрей Сахаров, стоял на возвышении над степью в нескольких километрах от эпицентра и наблюдал за взрывом. Прочитав американское руководство по поведению во время ядерных испытаний — так называемую «черную книжку», — он решил, что на таком расстоянии можно не надевать темные защитные очки.) Фейнман с радостью принял приглашение, а Академия наук предложила оплатить расходы на путешествие. Но тут он засомневался и предусмотрительно написал письмо в Комиссию по атомной энергии, спрашивая совета у правительства. «Я решил, что вам может быть это интересно, — писал он. — Так как во время войны я был связан с проектом в Лос-Аламосе, необходимо учитывать риск того, что я могу не вернуться, а также общественное мнение по этому вопросу». После небольшой паузы представители Комиссии и Госдепартамента ответили единогласно: предложение русских отклонить. Присутствие Фейнмана на конференции могли использовать «в целях пропаганды». Он не стал возражать и написал тогдашнему главе Академии наук, что «возникли обстоятельства, сделавшие мой приезд невозможным». Под давлением правительства Фриман Дайсон также отклонил приглашение на конференцию: его предупредили, что согласно Акту об иммиграции Маккарана его могут не пустить обратно в США[146]. Дайсон, впрочем, не стал мириться молча и заявил газетчикам: «Вот типичный пример идиотского закона».

В основной линии исследований, не имеющей отношения к военной отрасли, русские физики охотно использовали новейшие разработки американских и европейских ученых. Однако уже тогда становилось ясно, что взгляд Востока и Запада несколько различался. Атомная бомба была триумфом американцев; ее взрыв помог выиграть войну со стороны Соединенных Штатов, но он не оставил столь глубокого следа в сознании советских людей (хотя их политики так же, как и американские, были одержимы гонкой вооружений). В то время как в США в большом количестве строили гигантские ускорители частиц (в Дубне, например, возводился синхроциклотрон международного класса), в СССР не столь охотно финансировали разработку таких установок. Самой влиятельной фигурой в советской физике был Ландау, а он прославился широтой своих интересов, охватывавших все явления, относящиеся к теоретической физике. Основным направлением его деятельности было исследование не элементарных частиц, а конденсированных состояний вещества: динамики жидкостей, перехода из одного состояние в другое, турбулентности, плазм, дисперсии звука и физики низких

температур. Хотя все эти темы были фундаментальными, в США их статус несколько померк в сравнении с популярностью физики частиц. Но не в Советском Союзе, где в 1955 году ученые с нетерпением ждали встречи с Фейнманом, который на время решил оставить изучение частиц. Темой своей первой после исследований в области квантовой электродинамики работы он выбрал предмет, столь дорогой сердцу Ландау: теорию сверхтекучести — беспрепятственного движения жидкого гелия, охлажденного до температуры, близкой к абсолютному нулю.

Квантовая жидкость

Писатели-фантасты, создававшие свои романы в то время, руководствовались одним интересным правилом: не давать слишком большую волю воображению, временами проявлять консерватизм. Для создания необычного нового мира достаточно изменить одну-две черты привычной реальности, и неожиданные последствия не заставят себя ждать. Так и в природе: стоило внести небольшие изменения в один-единственный закон, и возникал совершенно удивительный феномен.

На примере сверхтекучего гелия физики увидели, что происходит, когда жидкость течет без трения. Речь шла не о низком трении, а нулевом. Жидкость, находящаяся в спокойном состоянии, спонтанно скользила вверх по стенкам емкости, обволакивая их тонкой пленкой и нарушая все законы гравитации. Она проникала сквозь микроскопические трещины и отверстия, через которые не мог пройти даже газ. Как бы идеально ни были отполированы две стеклянные пластины, как бы плотно их ни прижимали друг к другу, сверхтекучий гелий свободно тек между ними. Эта жидкость проводила тепло гораздо лучше любого другого вещества и даже при сильном охлаждении не переходила в твердое состояние.

Для Фейнмана рассуждения о сверхтекучести были пронизаны изначальным, ребяческим интересом — так детей волнуют вопросы, «как это устроено». Все дети в душе физики, считал он: их делала такими увлеченность, с которой они наблюдали за водой в ванне или лужах на тротуаре, пытались перекрыть ручеек, бегущий по улице после ливня, размышляли над движением воды в водопадах и воронках. В стремлении понять суть этого явления он вновь обратился к основам, к базовым принципам. Что такое жидкость? Вещество, текучее или газообразное, не способное выдерживать напряжение сдвига, но движущееся под действием силы. Свойство жидкости сопротивляться напряжению называется вязкостью или внутренним трением. Вязкость меда больше, чем у воды, а вода более вязкая, чем воздух. Пытаясь вывести первые рабочие уравнения для определения текучести, физики XIX века обнаружили, что вязкость — особенно сложный критерий, рассчитать который невозможно. Чтобы упростить задачу и избежать ненужных осложнений, они часто создавали модели, в которых вязкость не учитывалась вовсе (и именно этим заслужили насмешки Джона фон Неймана); это было делом обычным. Но в данном случае исследователи динамики

жидкостей упустили из виду важнейшее и определяющее качество. Фон Нейман с сарказмом называл их «теоретиками сухой воды». А сверхтекучий гелий, по словам Фейнмана, по сути и был этой немыслимой, казалось бы, субстанцией — жидкостью без вязкости. Сухой водой.

У сверхтекучести был не менее странный близнец — сверхпроводимость, отсутствие сопротивления вещества при протекании по нему электрического тока. Оба феномена были открыты в ходе экспериментов с охлаждением веществ до сверхнизких температур. Сверхпроводимость открыли в 1911 году, сверхтекучесть лишь в 1938-м — из-за сложностей, с которыми сталкивались ученые в процессе наблюдений за поведением жидкости внутри контейнера размером с булавочную головку, помещенного в криостат. Несмотря на свою малопонятную эзотерическую природу, к 1950-м годам эти феномены стали самой горячей темой в теоретической физике, не считая элементарных частиц. В понимании механизмов вечного движения жидкости — своего рода «вечного двигателя» — не намечалось почти никакого прогресса. Фейнману сверхтекучесть и сверхпроводимость представлялись «двумя городами в осаде… со всех сторон окруженными знаниями, но изолированными и неприступными». Помимо Ландау, большой вклад в теорию сверхтекучести внес знаменитый химик из Йельского университета Ларс Онзагер, чьи сложнейшие курсы по статистической механике иногда называли «норвежским для начинающих» и «норвежским для продолжающих» (Онзагер говорил с норвежским акцентом).

В природе существовал еще один вечный двигатель, хорошо знакомый квантовым физикам, — движение на уровне электронов внутри атома, которое не замедлялось ни трением, ни рассеянием. Потеря энергии или трение возникали лишь при взаимодействии между *скоплениями* атомов. Неужели хаос, царивший в мире классического вещества, не имел отношения к этим *сверх*феноменам? Было ли это одним из проявлений квантовой механики в макромире? Возможно ли, что весь аппарат волновых функций, энергетических уровней и квантовых состояний мог применяться и в макромасштабе? Самым очевидным признаком того, что здесь физики имели дело с квантовым феноменом в «увеличенном» масштабе, было свойство гелия не замерзать до твердого кристаллического состояния даже при охлаждении до сверхнизких температур. В классической физике абсолютный ноль часто определяли как температуру, при которой прекращается все движение. В квантовой механике такой температуры не было. Движение атомов не прекращалось

никогда. Понятие нуля нарушало принцип неопределенности, поскольку при «классическом» абсолютном нуле все движение прекращалось и неопределенность импульса исчезала.

Ландау и другие физики подготовили почву, выдвинув несколько ценных идей о природе жидкого гелия. Одна из этих концепций, надолго закрепившаяся в физике твердых состояний, касалась новых структур — «квазичастиц», или «элементарных возбуждений». Речь шла о движении внутри материи групп частиц, взаимодействующих друг с другом. Одним из примеров этого явления стали квантовые звуковые волны — фононы[147]. В жидком гелии также обнаружились структуры, в которых совершалось вихревое движение, — их назвали ротонами. Фейнман пытался проработать эти идеи. Он также исследовал природу жидкого гелия, который вел себя так, будто обладал свойствами двух сосуществующих субстанций — обычной жидкости и сверхтекучей (любые формулировки в данном случае было совершенно необходимо дополнять словом «будто»).

Двойственность природы этого вещества проявлялась в ходе опытов. В круглую мензурку (по форме напоминавшую велосипедную покрышку) засыпали порошок, после чего наполняли ее жидким гелием. Мензурку вращали и резко останавливали. Обычно порошок препятствовал движению любой жидкости. Но благодаря своему сверхтекучему компоненту жидкий гелий продолжал скользить по кругу, просачиваясь сквозь микроскопические пустоты в порошке и игнорируя присутствие другой — обычной — жидкости. Студенты ощущали его течение, чувствуя сопротивление кольца вращению — подобно тому, как вращающийся гироскоп сопротивляется боковому давлению. Сверхтекучее вещество было способно продолжать движение до тех пор, пока существует Вселенная.

В 1955 году в Нью-Йорке на собрании Американского физического общества Фейнман поразил группу студентов Онзагера из Йельского университета, описавших свой новый эксперимент с вращающимися ковшами. (В исследованиях, связанных со сверхнизкими температурами, «ковшом» называлась мензурка размером с наперсток.) Фейнман встал и заявил, что во вращающемся ковше со сверхтекучей жидкостью воронки имели бы своеобразную форму — они бы нитями свисали вниз. Выступающие не поняли, что он имел в виду. А Фейнман именно так представлял себе поведение жидкого гелия на уровне атомов, визуализируя движение отдельных частиц внутри жидкости. Напрямую, насколько это было возможно, он рассчитал силы их взаимодействия, применив методы, которые использовал еще в дипломной работе с Джоном Слейтером. Он убедился, что, как и

предполагал Ландау, вихревое движение действительно возникает, и применил квантово-механическое ограничение, взяв одно такое движение как неделимую единицу. Изначально проблемой было найти подходящую визуализацию для элементарного возбуждения сверхтекучей жидкости. Одним из вариантов был атом, качающийся в клетке. Или пара атомов, вращающихся вокруг друг друга. Или небольшое крутящееся кольцо атомов. Сложность состояла в том, чтобы найти решение квантово-механической задачи с участием множества частиц, не прибегая к формальному математическому методу.

Однажды ночью Фейнман лежал в постели без сна и пытался воссоздать картину того, как, собственно, возникает вращение. Он представил себе жидкость, разделенную тонким листом — воображаемой непроницаемой мембраной. С одной стороны листа жидкость была неподвижна; с другой — обладала текучестью. Он знал, как записать классическую волновую функцию Шрёдингера для обоих состояний. Затем представил, что лист исчезает. Каким образом можно объединить две волновые функции? Он подумал о соединении разных фаз и предположил существование некоего поверхностного напряжения, энергии, пропорциональной площади поверхности листа-разделителя. Погрузился в размышления о том, что произойдет, если один-единственный атом перейдет эту границу: в какой фазе энергетической волны поверхностное напряжение упадет до нуля и атом придет в свободное движение? Перед его глазами плоскость разделилась на клейкие полосы, где атомы не могли смешиваться, и другие, более узкие полосы, где атомы имели возможность меняться местами. Он рассчитал, сколько энергии понадобится на искажение волновой функции и удержание атомов на месте, и понял, что ширина полос свободного движения будет равна ширине атома. Затем в его воображении возникли закручивающиеся в воронку линии, вокруг которых по кольцу вращались атомы. Эти кольца напоминали кружок детей, по очереди катающихся с горки. Стоило одному скатиться вниз — то есть волновой функции изменить знак с положительного на отрицательный, — как другой тут же занимал позицию наверху. Но движение жидкости представляло собой нечто большее, чем двухмерное кольцо. Подобно колечку дыма, оно вихреобразно закручивалось еще и в третьем измерении. Фейнман пришел к такому выводу через двадцать лет после своих первых исследований динамики дымовых колец, которыми он занимался в школьном клубе юных физиков. Эти квантовые воронки образовывались вокруг самого крошечного отверстия, которое только можно было представить, — отверстия всего в атом

шириной.

В течение следующих пяти лет Фейнман написал цикл статей, посвященных его работе над теорией взаимосвязи энергии и движения в квантовой жидкости. Вихревые линии стали фундаментальной единицей, неделимым квантом системы. Они устанавливали ограничения, регулирующие энергообмен внутри жидкости. Если мензурка была слишком тонкой или скорость потока недостаточно высокой, то вихри не формировались, а поток оставался неизменным, не теряя энергии и, следовательно, не обладая сопротивлением. Фейнман продемонстрировал условия, в которых возникают и исчезают вихревые линии; зафиксировал момент, когда они начинают сплетаться, образовывая клубки и порождая еще один неожиданный феномен, до сих пор никем не наблюдавшийся в лабораторных условиях, — турбулентность сверхтекучей жидкости. Администрация Калтеха наняла специалистов по работе со сверхнизкими температурами, и Фейнман стал тесно сотрудничать с ними. Он выяснил все об устройстве аппарата и вакуумных насосов, в которых охлаждение происходило в результате снижения давления пара, а герметичность обеспечивалась за счет резиновых уплотнительных колец. Вскоре по институту разнесся слух о «типично фейнмановском» эксперименте. К тонкому кварцевому волокну, свисающему из трубки, подсоединялись крошечные «крылышки» — лопасти. Затем в трубку строго вертикально заливали сверхтекучую жидкость. В эксперименте с обычной жидкостью лопасти начали бы вращаться, как маленький пропеллер, но со сверхтекучей этого не происходило: она просто проскальзывала мимо. В поиске сверхлегких лопастей экспериментаторы (если верить их словам) поймали несколько мух, и исследование вошло в историю как «эксперимент с мушиными крыльями».

Метод Фейнмана и его быстрый успех поразили физиков, которые начали работать со сжатой материей гораздо раньше и продолжили исследования в этой сфере после того, как он прекратил этим заниматься. Не прибегая к прославившим его инструментам — диаграммам или интегралам по траекториям, — Фейнман начал разрабатывать тему с визуализации, ментальных образов. Этот электрон толкает другой; а этот ион отскакивает, как мячик на резинке. Коллеги сравнивали его с художником, способным запечатлеть человеческое лицо всего тремя-четырьмя быстрыми выразительными штрихами.

Но не все его исследования увенчивались успехом. Одновременно со сверхтекучестью он бился над сверхпроводимостью и здесь в кои-то веки потерпел неудачу. (Хотя подошел к решению проблемы очень близко. Однажды

перед отъездом в путешествие он набросал целый лист заметок, начинавшийся со слов: «Кажется, я нашел основной источник сверхпроводимости». В центре внимания Фейнмана оказалась особая разновидность взаимодействия фононов и одно из характерных свойств сверхпроводимости, обнаруженных экспериментальным путем, — изменение удельной теплоемкости вещества. Он понимал, что тут «что-то не сходится», и указал на это в своих заметках, но надеялся преодолеть возникшие трудности. Внизу он подписал: «На случай, если я не вернусь: с вами был Р. Ф. Фейнман».) В 1957 году трое молодых физиков, зная, что Фейнман наступает им на пятки, сумели вывести успешную теорию сверхпроводимости[148]. Их звали Джон Бардин, Леон Купер и Роберт Шриффер. Годом ранее Шриффер присутствовал на лекции Фейнмана, посвященной двум феноменам: в основе одного из них лежала проблема, которую ему удалось решить, суть же другого от него ускользнула. Никогда в жизни Шриффер не слышал, чтобы ученый с такой увлеченностью, во всех подробностях рассказывал о работе, закончившейся провалом. Фейнман с бескомпромиссной искренностью описывал каждый неверный шаг и ошибочный вывод, каждую неудачную визуализацию.

Решить эту задачу не помогут никакие приемы и сложные расчеты, заявил тогда Фейнман. Единственный способ — угадать ответ, его очертания и форму. То, что экспериментов со сверхпроводимостью проводится недостаточно, нас не извиняет. Эксперименты тут ни при чем. Это же не мезоны, характер движения которых человеческому уму разгадать невозможно, если нет ключей и подсказок. В случае со сверхпроводимостью не нужно смотреть на результаты опытов… Это все равно что заглядывать в конец учебника, чтобы узнать ответ. Единственное, что мешает нам разработать теорию сверхпроводимости, — нехватка воображения.

Шриффер должен был законспектировать это выступление Фейнмана для публикации в научном журнале. Но из-за обрывочных рассуждений и откровенных признаний статья получилась слишком похожей на устную речь, и ему пришлось отредактировать материал. Однако Фейнман заставил его вернуть статье первоначальный вид.

Новые частицы, новый язык

За пять лет, прошедших после триумфа новой квантовой электродинамики, эта сфера науки неоднократно претерпевала радикальные изменения. Научный язык, область интересов, техническое оснащение — почти каждый месяц возникало что-то новое. Ежегодно экспериментаторы и теоретики собирались на «рочестерские конференции», получившие свое название в честь первого места их проведения — города Рочестер в штате Нью-Йорк. Эти мероприятия выросли из ставших уже легендарными конференций на Шелтер-Айленде, в Поконо и Олдстоуне, но были крупнее, насчитывали уже десятки (а позже и сотни) участников и лучше финансировались.

Ко времени первой рочестерской конференции, состоявшейся в конце 1950 года, квантовая электродинамика уже устарела; ее теории полностью подтверждались экспериментами, но были очень далеки от новой сферы интересов ученых-физиков. 1950 год стал своеобразной вехой: он ознаменовался открытием частицы, обнаруженной не в космических лучах, а в экспериментальном ускорителе. Это был нейтральный пи-мезон, или пион — нейтральный, потому что он не имел заряда. На самом деле экспериментаторы выявили не сам пи-мезон, а момент его немедленного распада под воздействием пары гамма-лучей. Эфемерность этой частицы, живущей десять миллионных миллиардных долей (10^{-17}) секунды, выводила ее за пределы привычного мира столов и стульев, химии и биологии, где она не имела какого-либо значения. В 1950 году ее время жизни считалось очень коротким. Но стандарты менялись. Уже через несколько лет в таблице частиц такая единица причислялась к категории устойчивых. Тем временем исследователей космических лучей (которые в основном были британцами), направлявших фотографические пластины в небо на воздушных шарах, насчитывались уже легионы, и их профессия внезапно перестала считаться такой уж редкой. «Джентльмены, произошло вторжение, — объявил один из лидеров в этой области. — Нас заменили ускорители».

Прежде физики крайне неохотно добавляли к обширному списку элементарных частиц новые наименования. Теперь об этом забыли; каждый экспериментатор мечтал совершить как можно больше открытий. В измерении частиц также произошли большие перемены с тех пор, когда электроны правили балом. Рассчитать массу частицы по хвостовому следу, оставленному в облачной камере продуктами вторичного или третичного распада, было не

так уж просто. Приходилось делать множество допущений при расчетах. Обнаружить частицу, дать ей название, вывести закон ее распада на другие частицы — это оказалось само по себе серьезной и достойной интеллектуальной задачей. Так появились новые емкие уравнения: $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$, где при распаде отрицательно заряженного пиона и протона возникают нейтральный пион и нейтрон. Да что уж говорить о массе — сами объекты исследования были неуловимы. Заявления о существовании или несуществовании той или иной частицы превратились в тонкий ритуал, окруженный предвкушениями и прогнозами и походивший на попытки предугадать, отложат ли матч из-за дождя.

Но все это относилось к области экспериментальной физики, а Фейнман с началом эпохи ускорителей заинтересовался методологией и ловушками, подстерегающими физиков-теоретиков. Большое влияние на него оказал Бете, всегда стремившийся обосновать свои теории интуитивными расчетами, и Ферми, последний из великих физиков, которые были одновременно и экспериментаторами, и теоретиками.

Бете тогда занимался разработкой формул вероятностей для неправильных (обратных) кривых, отображавшихся на фотографиях из облачных камер. Физик Марсель Шайн заявил, что в ходе экспериментов с ускорителем обнаружил новую частицу; последовала привычная в таких случаях суматоха. Бете же засомневался. Энергии, высвободившейся в ходе эксперимента, было явно недостаточно для возникновения частицы, описанной Шайном. Фейнман потом еще долго помнил спор двух физиков, их лица в зловещем отблеске светового стола для разглядывания фотографических пластин. Рассмотрев одну из пластинок, Бете сказал, что газ в облачной камере образует завитки, и кривые искажаются. Изображения на трех следующих пластинах также были неточными. Наконец ему попалась четкая фотография, и он заявил о статистической вероятности ошибки. Шайн возразил, что такая вероятность выявлена лишь в одном случае из пяти. Да, ответил Бете, и мы уже рассмотрели пять пластин. Фейнману, присутствовавшему при этом разговоре, позиция Шайна казалась классическим примером самообмана: ученый верит в результат, который хочет получить, поэтому начинает придавать повышенное значение данным в свою пользу и недооценивать свидетельства, опровергающие его позицию. Шайн раздосадованно заявил: у вас на каждый случай есть отдельная теория, а я разработал единую концепцию, объясняющую всё. Конечно, произнес Бете, но разница в том, что все мои теории верны, а ваша единственная — ошибочна.

Через несколько лет Фейнман оказался в Беркли как раз в то время, когда восторженные экспериментаторы решили, что обнаружили антипротон — частицу, которая, как казалось, должна существовать при высоких энергиях. Но Фейнман считал, что при ста миллионах электронвольт (максимальная мощность ускорителя на тот год) антипротон обнаружить невозможно. Как когда-то Бете, он пошел в темную комнату посмотреть на пластины: из десятка сомнительных изображений лишь одно казалось абсолютно четким — на его-то основе и было сделано открытие. Как и положено траектории античастицы, след на снимке изгибался в обратном направлении.

В вакуумной камере есть какой-то предмет, сказал Фейнман.

Там ничего нет, ответили экспериментаторы, кроме тонких стеклянных стенок.

Но что-то удерживает верхнюю и нижнюю пластины вместе, ответил Фейнман. И действительно, они соединялись четырьмя небольшими болтами.

Он снова взглянул на белый дугообразный след в магнитном поле и ткнул карандашом в стол в нескольких сантиметрах от края фотографии. Болт находится здесь, сказал он. Достали схему камеры и, наложив ее на фотографию, обнаружили, что Фейнман указал точное место. Обычный протон, ударившись о болт, отскочил и попал на снимок.

Позднее практики из Калтеха признавались, что само присутствие Фейнмана на экспериментах оказывало на них моральное давление, влияло на их методы и открытия. Он был безжалостным скептиком. Любил вспоминать знаменитый эксперимент с каплей масла Роберта Милликена — одного из первых великих калтеховских физиков. Милликен измерил неделимый заряд электрона в частице, которую изолировал внутри крошечных плавающих масляных капель. Эксперимент оказался верным, но в расчеты закралась ошибка, и последующие опыты, проведенные на его основе, стали позором для физиков. Теперь уже никто не тыкал пальцем в небо, надеясь оказаться близко к правильному ответу; физики определяли диапазон, в котором должен находиться верный результат, и медленно сужали круг. Ошибка Милликена психологически давила на физиков и, подобно далекому магниту, сбивала фокус наблюдений. Если экспериментатор говорил Фейнману, что сделал вывод в ходе сложного процесса исправления данных, тот обязательно спрашивал: а как вы определили, в какой именно момент необходимо прекратить корректировку? Вы решили сделать это до того, как увидели, какое влияние это оказывает на результат? Исправлять, пока ответ не покажется «правильным» —

как легко было угодить в эту ловушку! Чтобы избежать ее, нужно владеть всеми тонкостями работы ученого. Быть не только честным, но и упорным.

По мере продвижения вперед «эпоха частиц» предъявляла всё новые требования к физикам-теоретикам высшего ранга (а их ряды ширились с каждым днем). В процессе изучения взаимодействия частиц им приходилось проявлять чудеса изобретательности. Соревнуясь друг с другом, они придумывали абстрактные понятия, с помощью которых можно было бы организовать данные, поступающие из ускорителей. С возникновением новых квантовых чисел (таких как изотопический спин — величина, остававшаяся неизменной, невзирая на множественные взаимодействия) рождался новый взгляд на понятие симметрии, которая стала в то время основным предметом обсуждения в научной среде. Понятие симметрии в физике не слишком отличалось от симметрии в представлении ребенка, вырезающего фигурки из сложенного вдвое листа: нечто сохраняет свои свойства, в то время как все остальное изменяется. Например, при зеркальной симметрии правая и левая части остаются одинаковыми после того, как поменялись местами. При вращательной симметрии идентичность сохраняется после вращения системы по оси на определенный угол[149]. А вот симметрия изотопического спина, как выяснилось, была тождественностью двух компонентов ядра, протона и нейтрона; двух частиц, состоявших в необычайно близких отношениях. Одна несла заряд, другая была нейтральной; их массы почти совпадали. Ученые по-новому взглянули на свойства этих частиц: было установлено, что они являются двумя состояниями одной единицы, называемой нуклоном. Единственным различием между ними была проекция изотопического спина: у одной частицы она была направлена вверх (1/2 у протона), у другой — вниз (–1/2 у нейтрона).

Теоретикам нового поколения предстояло не только досконально изучить квантовую электродинамику, описанную Фейнманом и Дайсоном, — они также должны были овладеть богатым репертуаром методов, используемых на этой неизведанной территории. Понятие пространства для физиков уже давно обросло самыми диковинными интерпретациями. Пространства здесь были воображаемыми, величинам соответствовали оси, а не физическое расстояние. К примеру, «пространство движущей силы» позволяло прогнозировать и визуализировать движущую силу частицы, как будто та была всего лишь пространственной переменной. Со временем физики освоились в воображаемых пространствах, которых становилось

все больше. Изучение пространства изотопического спина стало определяющим для понимания сил, оказывающих действие на нуклоны.

В научный обиход вошли и другие понятия. Идея симметрии предполагала, что различные частицы должны группироваться «семьями»: парами, тройками или так называемыми *мультиплетами* (совокупностями). Физики экспериментировали с «правилами отбора», которые предписывали, что должно и не должно происходить при столкновении частиц в условиях неизменности конкретных величин, таких как заряд. Так, ровесник Фейнмана Абрахам Пайс интуитивно вывел правило ассоциативного рождения. Он предположил, что при определенном типе взаимодействия образуются группы новых частиц, предположительно обладающих новым квантовым числом неизвестной природы — странностью («странные частицы»). У Фейнмана возникла аналогичная идея в Бразилии, но он не стал ее развивать, так как она ему не понравилась. На протяжении нескольких лет ассоциативное рождение оставалось самой модной концепцией в физике. Экспериментаторы искали ей подтверждения и опровержения. В конечном итоге основным вкладом этой теории в науку оказалось то, что ее популярность вызвала огромное раздражение у молодого теоретика Мюррея Гелл-Манна. Он считал, что Пайс неправ, и мучился от зависти.

Мюррей

Когда Мюррею Гелл-Манну было четырнадцать, его товарищи по частной Колумбийской подготовительной и грамматической школе Верхнего Вест-Сайда (Нью-Йорк) отзывались о нем как о «самом прилежном ученике» и «вундеркинде». Впрочем, Гелл-Манн там не задержался: в четырнадцать он стал выпускником и той же осенью поступил в Йель. Уже тогда его фамилию произносили неправильно: ставили ударение на первый слог — Геллман (старший брат Мюррея Бенедикт впоследствии выбрал именно такое, упрощенное написание фамилии). Многие склонялись к другому, педантично-европейскому произношению — с ударением на втором слоге и удлиненном «а»: гел-Маан. Это тоже было неправильно. Позже, когда у Гелл-Манна появились секретарши, они нередко попрекали людей за это. «Он же не немец», — говорили они. Разумеется, «г» в имени было твердым, хотя автоматически его все равно произносили, как в слове «гель». Уроженцы Нью-Йорка и прочих мест, в речи которых звук «а» имеет разное звучание, догадывались, что в слоге «Манн» он должен быть кратким и открытым, а ударение на оба слога — одинаковым. Все, кто достаточно близко знал Гелл-Манна, замечали, что сам он всегда правильно произносил любые имена на любом языке. Поговаривали даже, будто он разъяснял приезжим из Страсбурга и Паго-Паго тонкости их эльзасского и самоанского диалектов. Он так настойчиво подчеркивал разницу в произношении названий страны Колумбии и округа Колумбии, что коллеги заподозрили его в особых симпатиях к южноамериканскому государству — так часто он упоминал о нем в разговорах об университете. С самого начала большинство физиков называли его просто по имени — Мюррей, и никогда ни у кого не возникало сомнений, о каком Мюррее идет речь. Готовясь к роли вождя в институтской постановке «Юга Тихого Океана»[150], Фейнман выучил несколько слов на языке самоа и со смиренным чувством неизбежности сообщил своему другу, что «Мюррей будет единственным, кто заметит мое неправильное произношение».

В Колумбийской подготовительной и грамматической школе Гелл-Манн учился бесплатно, на полной стипендии. Его отец был родом из Австрии, но безупречно владел английским и говорил без малейшего акцента. В начале 1920-х годов он основал школу английского языка для эмигрантов. Это предприятие, по мнению Мюррея, стало единственным успешным делом в жизни отца. Школа несколько раз переезжала — однажды поводом для этого,

по воспоминаниям Мюррея, стали опасения матери, что его брат подхватит кашель от кого-то из учеников, — и через несколько лет разорилась. Чтению его научил брат, родительский любимчик, который был старше на девять лет; он же привил Мюррею интерес к языкам, науке и искусству. Бенедикт наблюдал за птицами и был исследователем живой природы задолго до того, как это стало областью научного интереса; он бросил колледж в разгар Великой депрессии, шокировав родителей. У младшего брата сложилось о нем противоречивое впечатление.

Мюррей проявлял способности ко многим предметам, поэтому в физику пришел не сразу. Подав заявление в университеты Лиги плюща, он был глубоко разочарован: в Йель его приняли только на математический факультет, в Гарвард — на платное отделение, а в Принстон он вообще не поступил. Поэтому скрепя сердце он послал письмо в МТИ и тут же получил ответ от самого Виктора Вайскопфа, о котором слышал впервые в жизни. Гелл-Манн решил принять предложение Вайскопфа, хотя и сделал это очень неохотно. Он считал МТИ заведением для пролетариев и впоследствии часто шутил, что выбрал меньшее из двух зол: пойти учиться в МТИ или покончить с собой. Сделать сначала второе, а потом первое не представлялось возможным. Он попал в МТИ в 1948 году, накануне своего девятнадцатилетия, и из своей комнаты, расположенной рядом с кабинетом Вайскопфа, наблюдал за стремительно растущей конкуренцией в квантовой электродинамике. Когда Вайскопф намекнул, что будущее за Фейнманом, Гелл-Манн изучил все доступные материалы. Фейнман произвел на него впечатление человека немного чокнутого и говорящего на языке, понятном лишь ему самому; однако не оставалось сомнений, что его идеи верны. Версия Швингера показалась Гелл-Манну помпезной и неубедительной; та же теория в изложении Дайсона — грубой и небрежной. Уже тогда Мюррей был склонен к тому, чтобы давать нелестные оценки своим знаменитым коллегам, хотя в юном возрасте еще держал их при себе.

Его собственные изыскания не совсем отвечали его же строгим требованиям, однако в конце концов о нем заговорили. Отработав год в Институте перспективных исследований, он присоединился к группе Ферми в Чикаго. И успел как раз вовремя, к началу активного поиска верных концепций, принципов систематизации и квантовых чисел, необходимых для осмысления новых частиц. В этой зарождающейся науке было много как непонятного, так и закономерного: эксперименты выявляли немало совпадений в массе и продолжительности жизни частиц. Существование одних мезонов не оставляло

сомнений, наличие других лишь предполагалось, так как их никто не видел. Были и еще более загадочные элементы, обладающие чрезвычайно большой массой и получившие название V-частиц. Проблема заключалась в том, что, возникая в ускорителе в огромных количествах с относительной легкостью, распадались они медленно, в течение довольно длительного времени: они жили целую миллиардную долю секунды. Пайс с его концепцией ассоциативного рождения объяснил ряд закономерностей, которые прежде никто не мог понять. Эта теория содержала важнейшую идею о существовании скрытой симметрии. В то время она была на пике популярности: летом 1953 года Пайс произвел такой фурор на международной конференции в Японии, что ему в отель позвонили из Time. Трубку взял сосед по гостиничному номеру — им оказался Фейнман, приехавший на ту же конференцию, чтобы представить результаты своих исследований жидкого гелия. Поняв, что журналистам нужен не он, Фейнман ощутил укол зависти. А Гелл-Манн, в то время находившийся в Чикаго, завидовал Пайсу еще сильнее — ведь тот нашел убедительный ответ на вопрос, который интересовал его самого.

К тому времени физики с уверенностью рассуждали о четырех фундаментальных силах: гравитации; электромагнетизме, управляющем всеми химическими и электрическими процессами; сильном взаимодействии, связывающем атомное ядро; и слабом взаимодействии, отвечающем за медленные процессы радиоактивного распада. Быстрое появление и медленное исчезновение V-частиц наводило на мысли о том, что в их создании принимало участие сильное взаимодействие, а распадом управляло взаимодействие слабое. Гелл-Манн предложил новую фундаментальную величину, временно названную *y*, — нечто вроде разновидности заряда. Какими бы ни были квантовые события, на выходе заряд остается таким же, как и на входе. Гелл-Манн предположил, что величина *y* также остается неизменной, но не во всех случаях. Алгебраическая логика Гелл-Манна устанавливала, что при сильном и электромагнитном взаимодействиях *y* сохраняется, а при слабом — нет. Таким образом, при сильном взаимодействии возникает пара частиц с противоположными значениями *y*, например 1 и –1. Отдалившись от своего «близнеца», такая частица не распадется, так как больше не ощущает на себе воздействие противоположного заряда. Это объясняло «медленность» слабого взаимодействия.

Хотя величина *y* была искусственной, она не только описывала, но и объясняла все, что происходило при сильном и

слабом взаимодействии. Создавая основу своей теории, Гелл-Манн сделал эту величину организующим элементом. Благодаря ей он увидел, что частицы объединяются в семейства, и, пользуясь этой убедительной логикой, предположил, что в семействах недостает членов. Он предсказал существование новых, еще не открытых частиц[151], и обнародовал свои предположения в публикациях, которые выходили в свет начиная с августа 1953 года. Он также утверждал, что есть частицы, обнаружить которые невозможно.

Гелл-Манн оказался в нужное время в нужном месте. Экспериментаторы доказали правильность его положительных прогнозов и не нашли опровержения отрицательным. Но это была лишь часть его триумфа. Увлеченный лингвист, он внес свой вклад в квантовую терминологию, в то время весьма запутанную. Он решил назвать свою величину *y* «странностью», а семейство V-частиц — «странными частицами». Японский физик Кадзухико Нисидзима, пришедший к аналогичным выводам независимо от Гелл-Манна всего на несколько месяцев позже, выбрал гораздо менее запоминающееся наименование — «η-заряд». Среди названий многочисленных — онов и частиц, обязанных своим появлением буквам древнегреческого алфавита, термин «странность» звучал необычно и неортодоксально. Однако редакторы Physical Review отвергли заголовок «Странные частицы», настояв, чтобы автор статьи поменял его на «Новые неустойчивые частицы». Пайсу такое название тоже не понравилось. На конференции в Рочестере он обратился к аудитории с призывом избегать терминов со смысловой нагрузкой, подобных «странным частицам». С какой стати непредвзято мыслящий физик-теоретик станет считать одну частицу «страннее» других? Неординарность этого определения подействовала отталкивающе: что, если новое понятие не так реально, как заряд? Но Гелл-Манна с его языковыми изысками было не остановить. И «странность» оказалась лишь началом.

Той зимой, когда умер Ферми, накануне Рождества 1954 года Гелл-Манн написал знакомому физику, которого считал «настоящим» и лишенным фальши, единственному, кто не был рабом формализма и поверхностных рассуждений, чьи работы всегда были интересными и живыми. Кое-кто из коллег Фейнмана полагал, что тот уже отошел от физики частиц, но Гелл-Манн придерживался иного мнения. Из разговоров с Фейнманом он знал, что тот постоянно размышляет о нерешенных проблемах. И Фейнман прислал ему дружеский ответ. Гелл-Манн приехал в Калтех прочесть лекцию о своих текущих исследованиях. Двое ученых встретились в приватной обстановке и проговорили

несколько часов. Гелл-Манн рассказал о разработках, выполненных им на основе фейнмановской квантовой электродинамики: он развил эту теорию, применив ее для коротких расстояний. Фейнман ответил, что осведомлен о его работе и глубоко восхищается ею, и что это единственное, до чего он не додумался сам. Он дополнил мысль Гелл-Манна и вывел несколько дальнейших обобщений, затем продемонстрировал получившийся результат — и Гелл-Манн заявил, что, по его мнению, это замечательно.

В начале нового года Гелл-Манна пригласили на постоянную работу в Калтех, и тот согласился. Его кабинет располагался прямо над кабинетом Фейнмана. Теперь в стенах одного здания работали два самых блестящих ума своего поколения. Для узкого международного круга физиков, остававшегося тесным мирком, как бы быстро он ни рос, сотрудничество и соперничество этих умов обрело эпический размах. До самой смерти Фейнмана они то работали сообща, то враждовали, оставляя свой след во всех областях научного знания, которых касались. А их коллеги подолгу размышляли над тем, насколько поразительно разнообразными могут быть проявления великого интеллекта, даже если речь идет о двух современных физиках-теоретиках, работающих в одной сфере.

В поисках гения

Весной 1955 года в Принстонской больнице умер человек, который стал для всего мира чистым олицетворением гения. Его тело кремировали, а прах развеяли по ветру, но мозг оставили неприкосновенным. Патологоанатом больницы Томас Харви поместил последнее, что осталось от великого ученого, в емкость с формальдегидом.

Харви взвесил мозг. Всего каких-то тысяча двести граммов. Еще одно доказательство в копилку опровержений идеи, что размер мозга влияет на умственные способности и что мозг обычного человека меньше, чем одаренного, — идеи, тщетно продвигаемой различными учеными XIX века (стремившихся тем самым продемонстрировать превосходство мужчин над женщинами, белых людей над чернокожими или немцев над французами). Сначала в руки этих исследователей попал мозг великого математика Карла Фридриха Гаусса. Его размеры их разочаровали. Теперь, имея в своем распоряжении мозг Эйнштейна, ученые предположили, что секрет гениальности кроется в более тонких материях. Они стали измерять плотность его кровеносных сосудов, процент глиальных клеток и степень разветвления нейронных отростков. Шли десятилетия. Микроскопические срезы мозга Эйнштейна и фотографические слайды с их изображением продолжали курсировать в узком кругу нейропсихологов (психологов с «анатомическим уклоном»), которые по-прежнему носились с идеей о том, что объяснение качеств, принесших Эйнштейну славу, кроется где-то там, в этих трофейных фрагментах. К 1980-м годам от самого знаменитого мозга в мире осталось несколько крошечных серых волокон, хранящихся в Канзасе, в кабинете патологоанатома, вышедшего на пенсию, — печальное свидетельство неуловимости свойства, называемого гениальностью.

Выводы ученых оказались неубедительными, но это не значило, что их нельзя было опубликовать. (Один исследователь, к примеру, насчитал чрезвычайно высокое количество глиальных клеток в теменном участке мозга, называемом 39-м полем Бродмана[152].) Однако для поисков физической основы гениальности ученые не располагали достаточным количеством материала. «Разумеется, будучи нейропсихологами, мы строим гипотезы о существовании подобной основы, но никто и не думает ограничивать талант мозговой деятельностью. Существующие свидетельства касаются результатов исследования мозга Эйнштейна…»

Этот мозг отвечал за создание постньютоновской вселенной; именно он разрубил оковы, привязывающие нас к понятиям пространственного и временного абсолюта, именно он (или его теменная доля?) визуализировал пластичное четвертое измерение, исключил концепцию эфира из теоретической физики и отказывался верить, что Бог играет в кости со Вселенной. Обладатель этого мозга, рассеянный и добродушный, еще недавно бродил по тенистым улицам Принстона. Кто бы что ни говорил, в мире был только один Эйнштейн. Для школьников и нейропсихологов он стал воплощением силы интеллекта. Казалось, он обладал редким и отличительным качеством — гениальностью как *сутью*, а не просто крайним статистическим проявлением общего свойства на колоколообразной кривой интеллекта. Но было ли это правдой? Была ли гениальность особенным свойством? Или дело все-таки в степени его проявления — как у бегунов, пробежавших отрезок за 3:50 вместо 4:10? (Когда отчетливо видно изменение этой самой кривой: вчерашний рекордсмен сегодня может стать серебряным или бронзовым призером.) Вот в чем крылась загадка гения. Между тем никому почему-то не приходило в голову препарировать мозг Нильса Бора, Поля Дирака, Энрико Ферми; Зигмунда Фрейда, Пабло Пикассо, Вирджинии Вульф; Яши Хейфеца, Айседоры Дункан, Бейба Рута и прочих одаренных творческих людей, наделенных интуицией, которых часто и без колебаний именовали гениями.

Вокруг этого феномена возникла целая сфера исследований — странная и запутанная. Его пытались описать, проанализировать, разбить на категории, рационализировать и овеществить. Гениальности противопоставляли такие качества, как «обычный» талант, интеллект, воображение, оригинальность, трудолюбие, размах мысли и элегантность манеры; показывали, как она складывается из всех этих качеств в различных сочетаниях. В это вязкое болото шагнули психологи и философы, музыковеды и искусствоведы, историки науки и сами ученые. Однако несколько столетий труда не привели их к единому мнению по какому-либо из насущных вопросов. Существует ли гениальность вообще? Если да, то откуда она берется? (Избыток глиальных клеток в 39-м поле Бродмана? Любящий отец-неудачник, проецирующий на сына свои интеллектуальные амбиции? Травматичный опыт столкновения с неизведанным в раннем детстве — к примеру, смерть сестры или брата?) Может быть, когда серьезные исследователи говорят о гении словно о волшебнике, колдуне или сверхчеловеке, они просто предаются литературным фантазиям? И почему, когда речь заходит о грани

между гениальностью и безумием, сразу становится понятно, что имеется в виду? Был и еще один вопрос — его редко задавали, но он вертелся у всех на языке: почему с увеличением численности населения Земли от ста миллионов до пяти миллиардов количество гениев — новых Шекспиров, Ньютонов, Моцартов, Эйнштейнов — не возросло, а, напротив, сократилось почти до нуля? Неужели гениальность навсегда осталась в прошлом?

«Светлые, проницательные, глубокие умы», — писал Уильям Дафф два века назад, говоря о таких выдающихся личностях, как Гомер, Квинтилиан и Микеланджело. Из его сочинений и статей влиятельных английских философов середины XVIII века родилось современное значение слова «гений». Его первоначальный смысл — «дух», под которым подразумевалось некое магическое существо, а также дух нации. Дафф и его современники связывали гениальность с божественной силой творения, с изобретательством, созданием того, чего раньше не существовало. Так возникло понятие воображения и связанные с ним психологические характеристики: «необузданная, неуправляемая сила», «постоянный полет фантазии», «склонность теряться в лабиринте заблуждений».

Воображение — это свойство ума не только размышлять о собственных действиях, но объединять различные идеи, почерпнутые из каналов чувственного восприятия и хранящиеся в памяти[153]. Обладая пластичной способностью к созданию новых ассоциаций и бесконечного числа вариантов их соединения, оно может порождать собственные творения и представлять сцены и объекты, не существующие в природе.

Два века спустя те же самые качества снова оказались в центре внимания когнитивных исследователей. На этот раз речь шла об изучении природы творчества: способности ума к самосозерцанию, самооценке и самопониманию; гибкого и динамического процесса создания понятий и ассоциаций. Первые исследователи гениальности, искренние в своих изысканиях, пытаясь рационализировать и упростить необъяснимый, по сути, феномен (они сами это признавали), понимали, что это свойство нередко соседствует с необразованностью и даже некоторым недостатком мастерства. Гениальность была чем-то естественным, ненасаждаемым, некультивируемым. В 1774 году Александр Джерард писал о Шекспире, что по гениальности тот превосходит Мильтона, хотя уступает ему в поэтическом мастерстве. Вал аналитических статей и полемических материалов на тему гениальности в тот период привел к возникновению системы ранжирования и сравнений, ставшей общим местом в критической литературе. Гомер против Вергилия, Мильтон

против Вергилия, Шекспир против Мильтона… Однако результаты — своего рода лестница мастерства для гениев — не всегда выдерживали проверку временем. В паре «Ньютон против Бэкона», по мнению Джерарда, Ньютон лишь развил более глубокие и оригинальные, чем его собственные открытия, наработки Бэкона, «который без всякой помощи со стороны создал основы целого метода». А как же ньютоновская математика (дифференциальное и интегральное исчисление)? Поразмыслив, Джерард решил оставить непростое решение этого вопроса потомкам: пусть они выясняют, кто из ученых был более великим.

Джерард и его современники преследовали вполне конкретную цель. Они надеялись, что, постигнув природу гениальности, отыскав ей рациональное объяснение и докопавшись до сути ее «механизма», можно будет сделать процесс изобретения и открытия нового более прогнозируемым. Со временем подобная мотивация только окрепла. Теперь этот человеческий феномен рассматривали как двигатель научного прогресса и в открытую связывали с экономическим благополучием нации. В обширной научной среде — университетах, корпоративных лабораториях и национальных научных фондах — возникло понимание того, что руководители проектов, организованных и финансируемых лучше, чем все остальные, так и не научились стимулировать, а возможно, даже распознавать гениальность, которая и приводит к открытиям, переворачивающим мир.

Познание истоков гениальности, подытожил Джерард в 1774-м, «является вопросом первостепенной важности, ведь без этого невозможно вывести обобщенную методику изобретения нового, а полезные открытия и дальше будут совершаться лишь по воле случая, как и было всегда». Время подтвердило справедливость его опасений. В наши дни историки науки вторят Джерарду, раздосадованные тем, что природа этого явления по-прежнему остается непостижимой, хотя они все же пытаются понять ее, а не просто благоговеть перед гениями. В 1939 году Джон Десмонд Бернал заметил: «Наука о науке все еще питает надежду, что, внимательно проанализировав историю открытий прошлого, мы найдем способ отделить изобретения, к которым привела хорошая организация, от чистого везения, и сможем наконец просчитывать риски, а не полагаться на слепой случай».

Но разве можно рационально объяснить нечто столь ускользающее и случайное, как вдохновение? Архимед и ванна, Ньютон и яблоко — людям нравится рассказывать истории о гениях как о героях из другого мира, которые обладают

качествами, выходящими за рамки человеческого понимания. И больше всего падки на такие истории ученые. Вот современный пример.

Студент-физик изучает теорию квантового поля под руководством Мюррея Гелл-Манна в Калифорнийском технологическом в 1950-е. Еще до того, как появились стандартизированные учебники по теме, к нему в руки попадают конспекты лекций Ричарда Фейнмана, передающиеся от студента к студенту в самиздатовском формате. Он спрашивает о них Гелл-Манна. Тот отвечает: да, Дик пользуется другими методами, не теми, что приняты здесь. Студент спрашивает: и какой же он, метод Фейнмана? Гелл-Манн с хитрым видом прислоняется к доске и отвечает: а вот такой. Записываешь задачу на доске. Долго думаешь (при этом он зажмуривается и комично прижимает кулак ко лбу). Потом записываешь ответ.

Это была известная история, можно сказать, классика жанра. А вот отрывок из трактата 1851 года «Гений и промышленность».

(Профессор Кембриджского университета приглашает к себе гениального математика, который работает в Манчестере простым клерком.) «…разговор начался с геометрии и логарифмов, с дифференциальных и интегральных уравнений и перешел к вопросам глубоким и совершенно непонятным обычному человеку; наконец бедному клерку предложили задачу, на решение которой ученый потратил бы несколько недель. Он тут же записал ответ на клочке бумаги. «Но как вы это решили? — спросил профессор. — Объясните свой метод!»

«Этот метод, — ответил клерк, — существует лишь в моей голове. Я не могу его объяснить: я сам не знаю, что у меня там происходит».

«А! — ответил профессор. — Знаю этот метод; да, вы правы, в вашу голову я залезть не могу».

Одним словом, магия. Вспоминаются слова Марка Каца: «Работа их ума совершенно непостижима. Даже если мы понимаем, до чего они додумались, процесс, который привел их к этому, остается сокрытым». Так гении оказываются изолированными от остального научного сообщества: поскольку валютой ученого является метод, который можно передать от одного практика к другому, гениальность признается непрактичной.

Вера выдающихся физиков и математиков в то, что гений — в некотором роде колдун, является частью психологической защиты. Обсуждая, например, свою работу с Фейнманом, ученый рисковал испытать неприятное потрясение. И это случалось не раз, так как многие физики мечтали услышать мнение Фейнмана

о результатах, которых добивались неделями или месяцами, поставив на карту свою карьеру. Но Фейнман, как правило, отказывался выслушивать их объяснения; он говорил, что это портит ему все веселье. Выслушав лишь общее описание проблемы, он подскакивал и заявлял: а, понял! И писал на доске не результат А, рассчитанный его собеседником, а более сложную и общую теорему — назовем ее Х, так что результат А (расчеты, которые автор уже собирался отправить в Physical Review) оказывался лишь ее частным случаем. Это вызывало очень болезненную реакцию. Было неясно, откуда Фейнман брал свои молниеносные ответы — то ли высчитывал их в уме, то ли извлекал из памяти решения задач, над которыми он уже когда-то трудился. В начале 1960-х годов на семинаре в Калтехе астрофизик Вилли Фаулер предположил, что квазары — загадочные источники сильного радиоизлучения, открытые лишь позднее в отдаленных пределах Вселенной — на самом деле являются сверхмассивными звездами. Фейнман тут же вскочил и, к изумлению присутствующих, заявил, что такие объекты были бы гравитационно нестабильными. Более того, он разъяснил, что их нестабильность следует из общей теории относительности. Чтобы сделать такое заявление, необходимо было рассчитать малейшие компенсационные эффекты звездных сил и релятивистской гравитации. Фаулер решил, что его оппонент просто выдумывает на ходу. Однако Фейнман работал над этой проблемой за много лет до Фаулера и посвятил вычислениям сотню страниц, как позже выяснил его коллега. Чикагский астрофизик Субраманьян Чандрасекар самостоятельно пришел к выводам, подтверждающим правоту Фейнмана; он включил их в свои исследования, за которые получил Нобелевскую премию в 1983 году. А Фейнман так и не опубликовал собственные расчеты. По словам его коллеги, всегда существовал риск, что физик, сделавший открытие, обнаружит, что «Фейнман уже расписался за него в гостевой книге и ушел».

Великий физик, накапливающий знания и не утруждающий себя их публикацией, может представлять реальную опасность для коллег. В лучшем случае это действует на нервы — узнать, что Фейнман не счел нужным обнародовать открытие, которое кто-то считал главным в своей карьере. В худшем — лишает уверенности: как понять, что ему известно, а что нет? Многие попадали впросак из-за этой привычки гениев. Например, про Ларса Онзагера рассказывали, что, когда к нему приходил кто-нибудь из физиков и спрашивал его мнение о своем открытии, тот, сидя в рабочем кресле, отвечал: «Кажется, вы правы»; затем с безразличным видом тянулся к ящику стола и доставал с самого

дна листок с заметками, который, видимо, хранился там с незапамятных времен; бегло просмотрев его, подтверждал: «Да, так я и думал; все верно». Увы, не на такую реакцию рассчитывал посетитель.

Человек, которому таинственным образом известно то, что нигде не записано, — это ли не маг? Волшебником считался и тот, кто способен выманить у природы тайны, то есть ученый. В представлении современного исследователя его деятельность сродни каббалистической магии: законы, правила, симметрия, скрытые под видимой поверхностью. Порой такое восприятие научного поиска подавляло и тяготило ученых. Выступая перед небольшой аудиторией в темном зале Кембриджа за несколько лет до своей смерти, Джон Мейнард Кейнс говорил о Ньютоне как о «странной душе, которую дьявол вынудил поверить… что всеми тайнами Бога и природы можно овладеть лишь чистой силой ума… это сближало его и с Коперником, и с Фаустом».

«Почему я называю его магом? Потому что он воспринимал вселенную и все сущее в ней как тайные письмена, которые можно прочесть, отыскав ряд знаков, мистических ключей, оставленных Богом, — словно Создатель подготовил сценарий философской охоты за сокровищами для избранного эзотерического братства… Он верил, что сила воображения позволит ему постичь тайну божественного мироустройства, смысл событий прошлого и будущего, загадку стихий и всего, из чего они состоят…»

В том зале, сосредоточенно внимая словам Кейнса и отмечая про себя холодность и мрачность уставшего лектора, сидел молодой Фримен Дайсон. Позже Дайсон стал придерживаться схожих взглядов на гениальность, только без налета кейнсовского мистицизма. Он рассуждал о существовании ученых-магов спокойно и рационально. «Нет в этом никакой таинственности, — писал он. — Полагаю, любой великий ученый обладает личными качествами, которые обычным людям кажутся в некотором смысле сверхчеловеческими». Выдающиеся умы всегда были избавителями и разрушителями; они порождали мифы, но ведь мифы — это часть научной реальности.

Когда в полумраке кембриджского актового зала Кейнс описывал Ньютона как мага, он придерживался достаточно сдержанного взгляда на гениальность. На смену рациональным трактатам XVIII века пришли неистовые восторги эпохи романтизма. Если первые авторы, писавшие о гениальности, видели у Гомера и Шекспира лишь вполне простительное пренебрежение правилами стихосложения, романтики конца XIX века усмотрели в этом признак сильного, свободолюбивого героя,

сбрасывающего оковы, отвергающего Бога и общественные устои. Они также заметили склонность гения к патологии. Гениальность связали с безумием — и приравняли к нему. Чувство божественного вдохновения и откровения, идущего, казалось бы, извне, на самом деле шло изнутри и было порождением искаженного меланхолией или охваченного исступлением ума. Идея была не нова. «О, как близок гений к безумию! — писал Дени Дидро. — Гениев и безумцев сажают в клетки и заковывают в цепи либо воздвигают им памятники». Таков был побочный эффект смещения центра внимания с Бога на человека: само понятие откровения при отсутствии Создателя, дающего это откровение, внушало тревогу, особенно тем, кто его испытывал. «…Нечто пронзающее тебя изнутри, подобно судороге, нечто тревожное вдруг становится видимым и слышимым с неописуемой определенностью и ясностью, — писал Фридрих Ницше. — Человек слышит, но не ищет источник звука; берет, но не спрашивает, кто дает; его мысль подобна вспышке молнии». Гениями такого рода были Шарль Бодлер и Людвиг ван Бетховен — люди, которых едва ли можно назвать полностью нормальными. Уильям Блейк утверждал: «Прогресс идет прямой тропой; кривая тропа — тропа Гения, не знающего постепенности».

В 1891 году Чезаре Ломброзо в своем труде по психиатрии описал сопутствующие гениальности «симптомы». *Дистрофия. Рахит. Бледность. Истощение. Леворукость*. В европейской культуре сложился образ гениального ума как кипящего котла; появилась противоречивая психиатрическая терминология, которую смог структурировать и привести в надлежащий вид лишь Фрейд. Но до Фрейда приходилось довольствоваться описанием Ломброзо. *Ретроградство. Склонность к бродяжничеству. Бессознательные состояния*. Такими были предполагаемые ключи к гениальности. *Сверхчувствительность. Нарушения памяти. Неординарность. Пристрастие к специальным словам*. «Таким образом, физиология гения и патология безумца во многом совпадают», — подытоживал Ломброзо. Гений, вследствие тревожности своего ума, совершает ошибки и поступки, которых обычный человек избегает. И все же эти безумцы, «презирая и преодолевая препятствия, перед которыми отступает холодный сознательный ум, сокращают путь к истине на целые века».

Представление о «безумном гении», который проявляет бесспорные признаки одержимости, временами схожей с мономанией, закрепилось и стало стереотипом. Гении в определенной сфере — математике, шахматах, компьютерном

программировании — кажутся если не безумными, то, по крайней мере, лишенными социальных навыков, присущих обычным «здоровым» людям. Тем не менее этот стереотип не прижился в Америке, хотя свободолюбивые оригиналы Уитмен и Мелвилл соответствовали ему в полной мере. И не случайно не прижился. Ведь в конце XIX века американские гении были заняты не обогащением культуры, не игрой слов или созданием музыкальных и художественных шедевров, не попытками произвести впечатление в академических кругах. Они оформляли патенты. Александр Грэхем Белл был гением. Как и Эли Уитни, и Сэмюэл Морзе. Европейские романтики могли сколько угодно прославлять гения как эротического героя (Дон Жуан) или мученика (Вертер), подгонять под определение гениального композитора тех, кто творил после Моцарта и чьи произведения затрагивали глубокие эмоциональные струны. В Америке же начиналось время, которое газеты назовут «машинным веком». Непревзойденным гением, определившим значение этого слова для следующего поколения, стал Томас Алва Эдисон.

Сам «волшебник из Менло-Парка» не считал себя магом. Каждый, кто был с ним знаком, знал, что его достижения на девяносто девять процентов объяснялись упорством. В рассказах об Эдисоне и его исследованиях ничего не говорилось о внезапном озарении, подобном тому, какое настигло Ньютона после падения яблока на его великую голову. Нет, это были истории о долгом и утомительном труде, пробах и ошибках; так, Эдисон использовал для создания нити накала все возможные материалы — от человеческого волоса до бамбукового волокна. «Я нисколько не преувеличиваю, — заявлял он (естественно, преувеличивая), — утверждая, что создал три тысячи различных теорий, связанных с электричеством, при этом каждая из них рациональна и близка к истине». По его словам, в ходе экспериментов он последовательно исключил 2998 теорий и выполнил пятьдесят тысяч отдельных опытов на одном виде батареи.

Он получил классическое американское образование — проучился три месяца в обычной мичиганской школе[154]. Выдающиеся способности, которые привели его к созданию фонографа, электрической лампы и более тысячи других запатентованных изобретений, намеренно преуменьшались теми, кто творил легенду об Эдисоне и верил в нее. Их можно понять: столетиями рациональная наука регулярно сообщала о том, что в мире остается все меньше и меньше волшебства, а Эдисон и его собратья по цеху выпустили на свободу магию, которая обладала пугающей трансформирующей силой и становилась повсеместной

благодаря массовому производству. Эта магия проникала в стены домов и невидимо передавалась по воздуху.

«Мистер Эдисон не чародей, — говорилось в его биографии 1917 года. — Как и научная деятельность любого человека, сделавшего щедрый вклад в развитие цивилизации, его действия логичны, понятны и объяснимы. Волшебство — проявление сверхчеловеческих способностей; следовательно, существовать в реальности оно не может… И все же Эдисону удалось заставить мертвых говорить: благодаря ему люди, давно лежащие в могиле, предстали перед нашими глазами».

«Эдисон не волшебник, — вторила биографии статья, опубликованная в 1933 году. — Впечатление, будто он обладал чем-то сродни магическому дару, возникало из-за его неразрывной гармоничной связи с окружающей средой…» На этом попытки объяснить гениальность Эдисона заканчивались. Оставалось лишь задать один из тех вопросов, которые иногда не дают уснуть и на которые нет ответа: что, если бы Эдисона не было на свете? если бы этот самоучка, этот не знающий усталости ум, способный придумать новый прибор или метод и познать суть любого процесса, не оказался бы в нужном месте в нужное время в начале эпохи великих открытий? Вслух эти вопросы почти никто не задавал. Впрочем, они сами содержали в себе ответ: именно Эдисон сумел привести в нужное русло уже существовавший поток. Электричество изменило мир, готовый выйти за границы простой механики. Понимание того, как движется электроток и как им управлять, дало дорогу сонму новых изобретений: телеграфу, динамо-машине, фонарям, телефонам, моторам, обогревателям, машинам, которые умели шить, толочь, пилить, жарить, гладить, поглощать грязь. Все эти устройства только и ждали, когда их создадут. Стоило Хансу Кристиану Эрстеду заметить, что электроток способен передвигать стрелку компаса (это произошло в 1820 году), как изобретатели — не только Сэмюэл Морзе и Андре-Мари Ампер, но и полдесятка других — тут же придумали телеграф. Создателей генератора было еще больше, а к тому времени, как технологии сделали возможным появление телевизора, приписать его изобретение одному человеку, одному-единственному «Эдисону», стало задачей невыполнимой.

Демистификация гениальности в век открытий внесла свой вклад в формирование научной культуры первой половины XX века. Именно эта культура с ее открытым позитивизмом и техническими школами, ориентированными на экспериментально полученный результат, взрастила Фейнмана и его современников в 1920-е и 1930-е годы — несмотря на то, что маятник науки в то

время снова качнулся в сторону более загадочной и более полагающейся на интуицию, нежели на рациональный ум, фигуры ученого — Эйнштейна. Возможно, Эдисон и изменил мир, но Эйнштейн предложил его новую модель и сделал это при помощи одного-единственного непостижимого акта визуализации. Он увидел, какой должна быть Вселенная, и заявил, что такой она и является. Он был первым со времен Ньютона, кто оказался способен на это.

К тому времени ряды ученых стремительно ширились и насчитывали уже не сотни теоретиков и практиков, а десятки тысяч. По большей части их труд — наука — не представлял из себя ничего из ряда вон выходящего: по выражению Фримена Дайсона, это было «ремесло честных трудяг», то, о чем принято говорить «крепко сработано», «совместные усилия, надежность которых важнее оригинальности». В современную эпоху разговор о процессе научного развития стал почти невозможен без отсылки к Томасу Куну, чей труд «Структура научных революций» сам произвел переворот в мышлении историков науки. Кун показывал различие между непритязательным «ремеслом», которым заняты почти все активные исследователи, — решением задач, развитием существующих теорий и так далее — и головокружительными интеллектуальными переворотами, которые являются истинными двигателями знания. В схеме Куна ничто не указывало на то, что для революции необходим один человек, один гениальный ученый; и все же принято было говорить о теории относительности Эйнштейна, принципе неопределенности Гейзенберга, дрейфе материков Вегенера.

Новая концепция научных революций идеально состыковывалась с прежними мифами о великих умах, отвергнувших стандартные методы и взглянувших на мир по-новому. Гений в представлении Дайсона разрушал и создавал. Квантовые электродинамики Швингера и Фейнмана были математически идентичными, но одна относилась к старому миру, а другая являлась шагом в будущее. Первая продолжала существующую линию мысли, вторая решительно разрубила связи с прошлым, чем заинтриговала потенциальную аудиторию. Одна была конечной: лежащий в ее основе математический метод неизбежно усложнялся и из-за этого был обречен. Вторая являлась лишь началом — для тех, кто оказался готов последовать за Фейнманом и освоить его новый метод визуализации, хотя он был рискованным и даже самонадеянным. Позднее Дайсон понял, что его цели, как швингеровские, были консервативными («Я смирился с ортодоксальной позицией… И искал подходящий набор уравнений…»). Фейнман же выступил

как истинный провидец: «Он выискивал общие принципы, достаточно гибкие, чтобы их можно было применить ко всем процессам во Вселенной».

Тем временем поиски источника научного вдохновения не прекращались. Нейропсихологи упорно отвергали понятие «ум», стремясь найти некий *субстрат,* ответственный за гениальность; между их позицией и взглядом на открытие как на озарение пролегла пропасть. Это происходило потому, что они считали введение этого термина слишком легким выходом, неким *deux ex machina* для ученых, не имеющих других объяснений. Фейнман тоже занимался изучением нейронов; пытаясь понять природу цветного зрения, он исследовал анатомию мозга, но, как правило, стандартное определение «ума» его устраивало. Разум в представлении Фейнмана обладал динамической структурой, и источником этой динамики являлся не неврологический субстрат, а нечто большее, самостоятельное. «Что такое ум? — рассуждал он. — Что за атомы, обладающие сознанием, его составляют? Они как прошлогодняя картошка! Эти атомы и сейчас помнят, что творилось в моей голове год назад, хотя их давно уже заменили другие. Они возникают в моем мозгу, танцуют и испаряются; на их место все время приходят новые, но танец они исполняют один и тот же, такой же, как вчера».

Фейнман не любил слово «гений». Как и многие физики, он относился к нему с опаской. В ученой среде считалось своего рода нарушением этикета называть «гением» живущего коллегу, о чем не знали лишь новички. Этим словом так часто бросались, что оно утратило свою ценность. Почти каждый мог побыть гением на протяжении одной журнальной статьи. Был недолгий период, когда люди, не имеющие отношения к науке, нарекли наследником Эйнштейна Стивена Хокинга — британского космолога, которого коллеги весьма ценили, но ни в коем случае не боготворили. В случае с Хокингом, страдавшим от прогрессирующей мышечной дистрофии, образ гения приобретал особый драматизм: мощный интеллект, заключенный в слабеющем теле, боролся, ища пути самовыражения. И все же немногие из коллег Хокинга считали его гениальнее себя с точки зрения научной одаренности и бесспорных достижений.

Ученые избегали слова «гений» отчасти и потому, что не верили в существование этого явления. Некоторые же, напротив, были слишком уверены в том, что гений управляет всем, поэтому суеверно боялись упоминать о нем, как евреи боятся произносить имя Яхве. Не опасаясь попасть впросак, гением можно было называть только Эйнштейна; вторым после него по гениальности был, пожалуй, Бор, ставший для физиков своего рода

направляющей отцовской фигурой в эпоху формирования квантовой механики; третьим был Дирак, затем, возможно, Ферми, а может быть, и Бете… Все они, казалось, заслуживали того, чтобы называться гениями. Однако Бете без явного смущения и ложной скромности любил цитировать слова Марка Каца, называвшего гений Бете «обычным» в сравнении с гениальностью Фейнмана (хоть в самом выражении «обычный гений» крылся оксюморон): «Обычный гений — тот, кем мы с вами вполне могли бы стать, будь мы во много раз умнее». *Кем мы с вами вполне могли бы стать*… Гениальность часто путали с мастерством, а разница состояла лишь в степени превосходства. Однажды коллега Ферми сказал: «Зная, на что способен Ферми, я не чувствовал себя в чем-то умаленным. Я просто понимал, что есть люди умнее меня, вот и всё. Некоторые бегают быстрее, чем я, и мне их не обогнать; Ферми считает быстрее меня, и мне не угнаться за ним».

С приходом структурализма, а потом и деконструктивизма даже такое отнюдь не магическое восприятие гениальности подверглось критике и стало казаться сомнительным. Литературоведы, музыковеды и историки науки утратили интерес не только к пари «Гомер против Вергилия», но и к самой идее гениальности как качества, которым обладал ряд исторических фигур. Может быть, возвеличивание этого свойства было лишь артефактом культурной психологии, разновидностью поклонения героям? В конце концов, репутация «великих» нередко зависела от общественно-политических требований среды и развенчивалась в процессе переоценки исторического контекста. В произведениях Моцарта слышится дыхание гения, но так было не всегда: в прежние времена композитора критиковали за жеманность и «салонность». Возможно, его станут критиковать и в будущем. В наше время ставить вопрос о гениальности Моцарта в корне неверно; даже спрашивать, почему он «лучше» чем, скажем, Антонио Сальери, было бы грубой ошибкой. Современный музыковед может втайне боготворить Моцарта и испытывать перед ним все тот же невыразимый восторг, что и в старые времена, но он все равно понимает, что понятие «гений» — устаревшее наследие романтизма. Слушатели Моцарта так же причастны к возникновению «магии», как наблюдатель к квантово-механическим процессам. Интересы и переживания любителей музыки помогают сформировать контекст, без которого музыка была бы всего лишь абстрактной последовательностью нот — по крайней мере, так заявляют теоретики. Гений Моцарта, если он вообще существовал, — это не субстанция и не качество ума, а результат взаимодействия,

осуществляемого в культурном поле.

И не странно ли, что именно ученые с их холодным рациональным умом стали последним бастионом, сохранившим веру в существование гениев; что именно люди науки оставили неприкосновенным пантеон героев и вслед за Марком Кацем и Фрименом Дайсоном по-прежнему снимали шляпы перед волшебниками?

«Гений — это самовозгорающееся пламя», — сказал кто-то из великих. Оригинальность, воображение, способность освободить свой ум от избитых традиционных установок и мыслить самостоятельно… Каждый, кто пытался постичь гений Фейнмана, неизбежно упоминал о его самобытности. «Он был одним из самых оригинальных умов своего поколения», — говорил Дайсон, его современник. Следующее поколение, имевшее возможность смотреть в прошлое с временной дистанции, тоже сочло мыслительные пути фейнмановского разума совершенно непредсказуемыми. Одно можно было сказать наверняка: он с непреклонным и даже опасным упорством игнорировал стандартные методы. «Мне кажется, если бы он не обладал такой невероятной скоростью мышления, люди относились бы к нему как к блестящему чудаку: ведь бо́льшую часть времени он посвящал исследованиям, которые позже оказались тупиковыми, — говорил Сидни Коулман, физик-теоретик, который познакомился с Фейнманом в Калтехе в 1950-е. — Есть немало людей, кому навредила чрезмерная оригинальность; не будь Фейнман столь умен, он мог бы стать одним из них».

А еще ему всегда была свойственна игра на публику. Многое из того, что он делал, было чистым лихачеством, стремлением продемонстрировать, что есть другой способ решить проблему, помимо привычного. Этот другой способ необязательно был лучше; главное, что он был *другим*.

Фейнман по-прежнему отказывался читать современные научные публикации лишь для того, чтобы «быть в курсе», и ругал своих аспирантов, если те начинали решать задачу «как принято» — сначала проверив, как это делалось до них. Так вы никогда не создадите ничего экстраординарного, повторял он. Коулман придерживался другого мнения:

«Мне кажется, Эйнштейн тоже был таким. И я уверен, что Дик считал это достоинством, благородным качеством. Но я так не считаю. Подобное поведение похоже на самообман. Студенты становились игрушками в его руках. Иногда лучше не изобретать колесо, а взять имеющиеся наработки и воспользоваться ими».

«Среди моих знакомых есть те, кого нельзя назвать большими оригиналами и чудаками, и они могли бы достичь гораздо

большего в физике, если бы на определенном этапе своей карьеры не попытались “соригинальничать” и не решили, что найти нестандартный ответ важнее, чем правильный. Дику многое сходило с рук, потому что он был чертовски умен. Такие, как он, и взбираются на Монблан босиком[155]».

В итоге Коулман предпочел Фейнману другого учителя. Наблюдать за работой Ричарда, вспоминал он, было все равно что смотреть китайскую оперу. «Его манера была абсолютно непостижима. Понять, к чему он ведет, что уже сделал и куда пойдет дальше, было совершенно невозможно. У Дика следующий шаг мог возникнуть из ниоткуда, из божественного озарения».

Многие отмечали полную свободу его мысли, но, объясняя свои методы, сам Фейнман говорил не о свободе, а об ограничениях. Он считал, что воображение ученого не имеет ничего общего со способностью взять чистый лист, нотный стан или холст и изобразить на них нечто совершенно новое, никак не сдерживая свои творческие порывы. С другой стороны, воображение нельзя измерить, как пытались сделать некоторые психологи, показывая человеку картинку и спрашивая его, что он видит. Для Фейнмана научное вдохновение подлежало непреложному и почти болезненному ограничению: творение ученого должно соответствовать реальности. Научное творчество, говорил он, это воображение в смирительной рубашке. «Говоря о научном воображении, люди из других дисциплин часто неверно истолковывают саму суть этого понятия, — рассуждал Фейнман. — Они упускают из виду важную деталь: то, что нам, ученым, *позволено* вообразить, мы должны сопоставлять со всем, что нам уже известно…» Существующие знания представляют собой фундаментально незыблемый каркас, который в точности отражает реальность. Как и творцы из сферы искусств, ученые чувствуют себя обязанными изобретать новое, но в науке само это действие содержит в себе семена парадокса. Инновация для ученого — вовсе не отчаянный шаг в неизвестность, «не отвлеченные мысли, которые можно свободно высказывать, а идеи, которые должны соответствовать всем известным законам физики. Мы не можем позволить себе всерьез “воображать” что-то явно противоречащее законам природы. Так что научное творчество — занятие не из простых».

В наше время люди творческих профессий испытывают постоянное давление со стороны общества: от них все время ждут «чего-то нового». От Моцарта в его дни требовалось творить в четко очерченных рамках, единых для всех композиторов, а не нарушать сложившиеся традиции. Стандартные формы сонаты, симфонии, оперы возникли до его рождения и оставались почти

неизменными до самой смерти; законы гармонии заключили его вдохновение в жесткую негнущуюся клетку. Такой же клеткой стала для Шекспира структура сонета. Но даже в этих пределах можно было найти возможности для создания шедевров — и позднее критики все-таки пришли к выводу, что гений творца сочетает в себе структурированность и свободу, твердость ограничений и дух изобретательства.

Наука стала последним прибежищем творческих умов старой школы, привыкших созидать в железных рамках — слегка сгибая прутья «клетки» и взламывая замки. Ограничения для научной мысли устанавливаются не только ее зависимостью от экспериментальной практики, но и традициями ученого сообщества, куда более однородного и приверженного правилам, чем сообщество художников. До сих пор, даже в квантовую эпоху, ученые умудряются рассуждать о реальности, объективной истине, мире, не зависящем от человеческих конструктов; порой кажется, что они последние в интеллектуальной вселенной, за кем сохранилась эта способность. Реальность стреноживает их воображение, как и все усложняющееся нагромождение теорем, технологий, математических формул и результатов лабораторных экспериментов, из которых состоит современная наука. Разве может гений произвести революцию в таких условиях? «Мы и так работаем на пределе воображения, но не для того, чтобы представить нечто несуществующее, как в художественной литературе, — мы пытаемся осмыслить то, что на самом деле *есть*».

Фейнман столкнулся с этой проблемой в мрачные дни 1946 года, когда пытался найти выход из трясины, в которую погрузилась тогдашняя квантовая механика. «Нам так много известно, — писал он своему другу Уэлтону, — но мы сводим имеющиеся знания всего лишь к нескольким уравнениям… Создается иллюзия, будто мы можем сопоставить эти уравнения с картиной физического мира». Свобода, к которой он пришел, была свободой не только от уравнений, но и от физической картины. Он не позволил математике указывать ему путь к визуализации: «Совпадения между физической картиной и уравнением встречаются нечасто. Поэтому я провожу время, исследуя новые способы взглянуть на уже известное». Велтон, освоив теорию поля, которая к тому времени почти стала общепринятой, к своему удивлению обнаружил, что Фейнман о ней ничего не знал. Тот, казалось, сохранял невежество в некоторых вопросах, оберегая себя от знания, подобно тому, как человек, проснувшись, зажмуривается, чтобы задержать ускользающий образ из сна. Позднее он сказал: «Может, молодые

часто добиваются успеха именно поэтому? Им мало известно. Когда слишком много знаешь, любая идея кажется ни на что не годной». Велтон тоже считал, что, если бы Фейнман знал больше, он не был бы таким блестящим инноватором.

«О, если бы я прочел фразы неизвестные, высказывания странные на новом языке, не использовавшемся ранее, свободные от повторений и неизбитые, отличные от тех, что произносили люди древности!» Эти слова высек в камне древнеегипетский книжник на заре письменности: уже тогда, за тысячу лет до Гомера, он ощущал пресыщение знанием. Современные критики говорят о грузе прошлого и опасности остаться под его влиянием. Необходимость придумывать что-то новое всегда владела сознанием художника, но никогда эта потребность не была настолько сильной, как в XX веке. Срок жизни новой формы или жанра никогда не был столь короток. И никогда еще творцы не испытывали такого давления со стороны, принуждающего их нарушать традиции, которые просуществовали совсем недолго.

Тем временем мир на глазах становился слишком большим и многогранным; гению старого образца, этой героической фигуре, не было в нем места. Творческим людям едва удавалось удерживаться на плаву. Норман Мейлер после выхода своего очередного романа, не удовлетворившего ожиданиям публики, которые сформировались еще в начале его карьеры, заметил: «Время титанов в искусстве прошло. Недавно я изучал Пикассо: знаете, кто были его современники? Фрейд и Эйнштейн». Он видел, как масштабы гениальности менялись на протяжении его собственной жизни, но пока не понимал, насколько радикально. (И немногие в то время понимали.) Мейлер взошел на литературную сцену, когда она была уже настолько тесной, что классический роман, написанный писателем-дебютантом вроде Джеймса Джойса, сразу определял его автора в достойные наследники Фолкнера и Хемингуэя. Мейлер стал одним из сотен не менее талантливых, оригинальных и амбициозных писателей, в каждом из которых можно было узреть зачатки гения. Не будь в этом мире Эмиса, Беккета, Чивера, Дрэббл, Фуэнтеса, Грасса, Геллера, Исигуро, Джонса, Казандзакиса, Лессинг, Набокова, Оутс, Пим, Кено, Рота, Солженицына, Теру, Апдайка, Варгаса Льосы, Во, Сюэ, Йейтса, Зощенко или любых других художников слова, назовите хоть десять, хоть двадцать, у Мейлера и других потенциальных гениев было бы намного больше шансов прослыть великими. Будь в этом море поменьше рыбы и будь эта рыба помельче, любой писатель не просто *казался* бы великим — он *был* бы им. Подобно представителю вида, соревнующегося за место в экологической нише, он имел бы в своем распоряжении

больше ресурсов и больше пространства, которое мог бы исследовать и беспрепятственно занимать. Вместо этого гиганты были вынуждены ютиться каждый в своем обособленном уголке интеллектуального ландшафта. Они разделились на многочисленные группы: американские писатели; певцы американского пригорода, деревни, города, страны третьего мира; полусветские, реалисты, постреалисты, полуреалисты, антиреалисты, сюрреалисты, декаденты, ультраисты, экспрессионисты, импрессионисты, натуралисты, экзистенциалисты, метафизики, романтики, неоромантики, марксисты; авторы любовных, плутовских, детективных, комических, сатирических романов и произведений множества других литературных жанров…. Другими словами, поделили между собой литературный мир подобно тому, как асцидии, миксины, медузы, акулы, дельфины, киты, устрицы, крабы, лобстеры и прочие морские жители поделили между собой океан и его ресурсы, обеспечивающие им безбедное существование, а ведь когда-то в течение миллиардов лет единственными обитателями подводного царства были сине-зеленые водоросли.

«И дело не в том, что гиганты измельчали до простых смертных, — писал эволюционист Стивен Джей Гулд в революционном эссе 1983 года. — Скорее сузились границы и сгладились углы». В статье речь шла не о водорослях и не о людях искусства, и даже не о палеонтологах, а о бейсболистах. Куда делись чемпионы, выбивавшие четыреста ударов? Почему они стали легендами прошлого, хотя технические навыки, физическое состояние игроков и состав профессиональных бейсбольных лиг, безусловно, улучшились? Гулд сам ответил на свой вопрос: бейсбольных гигантов больше нет, так как, с одной стороны, состав команд стал ровнее, а с другой — повысились стандарты. Разница между худшими и лучшими бэттерами и питчерами стала гораздо менее заметной. Прибегнув к статистическому анализу, Гулд продемонстрировал, что уход в прошлое «рекорда четырехсот ударов» был лишь одним из проявлений общей тенденции к исчезновению крайностей: игроков, выбивающих сто ударов за сезон, тоже не стало, просто этот факт меньше бросался в глаза. Количество лучших и худших сократилось, среднестатистических — увеличилось. Фанатам бейсбола вряд ли придется по душе мысль, что достижения Теда Уильямса по меркам современных лиг уже не считаются чем-то выдающимся, а Бейб Рут, страдавший лишним весом и алкоголизмом, наверняка бы проиграл нынешним бейсболистам, следящим за своим здоровьем с учетом последних научных разработок; или что с десяток нынешних безымянных молодых игроков обогнали

бы Тая Кобба по количеству украденных баз. Но увы, это неизбежно. А вот любителям легкой атлетики незнакома ностальгия бейсбольных фанатов по былым временам: здесь сравнивают не спортсменов, а их природные возможности, которые не могут быть безграничными, и от десятилетия к десятилетию статистика подтверждает тот факт, что прогресса в этом виде спорта не существует. Склонные к ностальгии преувеличивают достижения гениев прошлого; любитель музыки ставит поцарапанную пластинку Лаурица Мельхиора и вздыхает, что вагнеровских теноров больше не осталось. На самом деле с гениями в музыке дела обстоят, скорее всего, так же, как и в других областях человеческой деятельности.

Но только ли из-за ностальгии нам кажется, что гении стали приметой прошлого? Ведь нельзя же отрицать, что когда-то по земле ходили гиганты — Шекспир, Ньютон, Микеланджело, Ди Маджо — и что в их тени поэты, ученые, художники и бейсболисты современности выглядят пигмеями. Нам кажется, что никто никогда не создаст второго «Короля Лира» и не отобьет пятьдесят шесть мячей подряд. Однако «исходный материал», из которого создаются гении — каким бы ни было сочетание природного таланта и культурного окружения, необходимых для этого, — едва ли исчез. На планете, где проживают пять миллиардов человек, наверняка периодически рождаются люди с набором генов, способным сделать их вторыми Эйнштейнами, — и можно предположить, что в наше время это происходит чаще, чем раньше. Некоторые из них растут в столь же благоприятной среде, чем Эйнштейн, если даже не более благоприятной — ведь современный мир предоставляет во много раз больше информации и возможностей получить образование. Разумеется, гениальность — это нечто исключительное, не поддающееся расчетам. И все же есть статистические данные, с которыми современным будущим Моцартам приходится мириться: например, все образованное население Вены XVIII века сейчас легко поместится в одном большом многоквартирном доме в Нью-Йорке, а каждый год Бюро авторского права США регистрирует около двухсот тысяч «произведений исполнительского искусства» — от рекламных джинглов до эпических симфоний. В распоряжении художников и композиторов оказался мир, в котором есть из чего выбрать и есть что отвергнуть. Моцарт не выбирал ни зрителя, ни творческую манеру. Он пришел в уже сформировавшееся сообщество. А что же современные Моцарты? их просто нет? или они повсюду — стоят плечом к плечу, роясь в культурных отходах и пытаясь быть новее нового, но неизбежно всё мельчая и

мельчая?

Бегун, побеждающий на Олимпиаде и на мгновение воцаряющийся на спортивном пьедестале, опережает своих соперников всего на доли секунды. Разница между первым и вторым и даже между первым и десятым столь мала, что достаточно ветру подуть не в том направлении или спортсмену надеть не те беговые кроссовки, и победа достанется другому. А когда измерительная шкала становится многомерной и нелинейной, оценить человеческие возможности становится еще сложнее. То же касается и способности рассуждать, высчитывать, манипулировать логическими знаками и законами: эти необычные таланты являются уделом меньшинства, и даже небольшая разница в их глубинных свойствах имеет существенные последствия: есть просто хорошие физики, восторгающиеся Дайсоном, а есть Дайсон, восторгающийся Фейнманом. Большинству людей трудно даже разделить 158 на 192. А уж овладение теорией групп и механизмами современной алгебры, постижение возмущающих воздействий и Неабелевых калибровочных теорий, статистики спина и полей Янга — Миллса подобно сооружению в уме фантастического карточного домика, одновременно прочного и хрупкого. Чтобы удерживать этот каркас, не давая ему развалиться, а также манипулировать им и изобретать в его рамках, нужны ментальные способности, которые не требовались от ученых прошлых столетий. И множество современных физиков принимает вызов. Некоторые, тревожась, что Эйнштейнов и Фейнманов больше не видно, начинают думать, будто все гении ушли в микробиологию или кибернетику, однако микробиологи и кибернетики, с которыми они знакомы лично, ничем не умнее физиков и математиков.

Гении меняют историю. Это часть их легенды и заключительное испытание, которое более достоверно свидетельствует об их даре, чем рассказы коллег и восхищение современников, остающиеся после ухода многих блестящих ученых. Но история науки — это не сумма отдельных открытий; зачастую открытия совершаются многими людьми одновременно и независимо друг от друга. В глубине души все ученые это знают и спешат опубликовать любую находку, помня о том, что конкуренты дышат им в спину. Социолог Роберт Мертон обнаружил, что в научной литературе полно доказательств существования несостоявшихся гениев, которым что-то — или кто-то — помешал или которых опередили: «…эти бесконечные примечания… с досадой возвещающие: “Завершив этот эксперимент, я обнаружил, что Вудворт (или Белл, или Майнот)

пришел к аналогичному выводу в прошлом году, а Джонс — шестьдесят лет назад”». Сила гения, предполагает Мертон, заключается в способности одного человека сделать то, для чего потребовались бы усилия десяти человек. А возможно — особенно в наш перенасыщенный информацией век — в способности увидеть целостную научную картину, соткать большое полотно из разрозненных знаний, как сделал когда-то Ньютон. На пороге своего сорокалетия Фейнман поставил перед собой именно такую задачу — собрать воедино и переформулировать все известные знания о физике.

Ученые по-прежнему любят гадать, задаваясь вопросом «что, если…». Что, если бы Эдисон не изобрел лампу накаливания, — через какое время это сделал бы кто-то другой? Что, если бы Гейзенберг не изобрел матрицу рассеяния? Или Флеминг не открыл бы пенициллин? Или (король подобных вопросов) что было бы, если б Эйнштейн не открыл теорию относительности? «Такие вопросы всегда казались мне странными», — отвечал Фейнман корреспонденту, спросившему его об этом. Если кто-то что-то открывает, значит, так надо.

«Мы все не намного умнее друг друга», — говорил он.

Слабые взаимодействия

К концу 1950-х — началу 1960-х годов, когда открытие новых частиц перестало быть чем-то из ряда вон выходящим, физикам стало все сложнее нащупывать грань между возможным и невозможным. В их лексиконе появилось слово «зоопарк»[156], а научная интуиция часто вступала в конфликт с эстетическим чувством. На одном из собраний Вайскопф заявил, что, если в ближайшее время кто-то откроет частицу с двойным зарядом, его это очень расстроит. Оппенгеймер добавил, что лично ему не понравилась бы сильно взаимодействующая частица со спином более 1/2. Обоих вскоре ждало разочарование. Природа не была столь придирчивой.

Многим не нравились методы, всего несколько лет тому назад собранные под общим названием теории поля, — прямой расчет взаимодействия частиц при наличии бесконечностей, по-прежнему остававшихся камнем преткновения для ученых. В других областях физики частиц исследования не были столь успешными, как в квантовой электродинамике. Из четырех фундаментальных взаимодействий — электромагнитного, гравитационного, сильного (формирующего атомное ядро) и слабого (отвечающего за радиоактивный бета-распад и распад странных частиц) — перенормировка оказалась эффективна лишь применительно к первому. Для объяснения электромагнетизма было достаточно простейших диаграмм Фейнмана. Но по мере ослабления силы взаимодействия более сложные схемы оказывались все менее применимы математически (по той же причине в ряде типа $1 + n + n^2 + \ldots$ дальнейшие члены исчезали, если $n = 1/100$). Для расчетов сильного взаимодействия уже требовался целый лес фейнмановских диаграмм, и это бесконечно усложняло любые вычисления. Получить реальный результат становилось невозможно. Квантовая электродинамика позволяла делать удивительно точные динамические прогнозы; однако там, где действовали более сложные силы, нельзя было применить столь же успешный метод: его попросту не существовало. Симметрии, законы сохранения и квантовые числа складывались в абстрактные принципы, служащие для упорядочения экспериментальных данных. Ученые искали в них логику, пытаясь заполнить пробелы и выстроить систему. Физики, использовавшие математический метод, обособились в отдельную группу и продолжали работать с теорией поля, но большинство теоретиков предпочитали иметь дело с данными о частицах и искать общие принципы. Эти

данные поступали в огромных объемах. Поиск симметрий означал, что ученые не были больше привязаны к микроскопической динамике поведения частицы. Если физик-теоретик продолжал записывать динамические показатели и размеры, теперь это считалось занятием почти предосудительным или как минимум глупым.

По мере углубления в симметрию также пришло осознание, что идеального равновесия не существует: чем больше внимания уделяли изучению ее законов, тем яснее становилось, что они не абсолютны. Отчетливее всего это было видно на примере самой явной из симметрий: право — лево. Человеческое тело кажется ее образцом, но это не совсем так. Любой врач скажет, что она нарушается смещением от центра сердца и печени, а также множеством тонких и незаметных различий. Мы и сами нарушаем эту симметрию, на бессознательном уровне усваивая разницу между правой и левой сторонами. Фейнман как-то признался группе ученых, собравшихся на чашку кофе в лаборатории Калтеха, что до сих пор интуитивно ищет родинку на тыльной стороне левой ладони, когда хочет определить, где правая и левая сторона. А в свою бытность в МТИ он размышлял над классическим ребусом зеркальной симметрии: почему в зеркале меняются местами лишь лево и право, но не верх и низ? Почему буквы в книге выглядят перевернутыми, но не опрокинутыми, а у двойника Фейнмана в зеркале родинка на правой руке? Возможно ли вывести теорию зеркального отображения, которая могла бы дать обоснование не только право- и левосторонней симметрии, но и симметрии «верх — низ»? Над этой загадкой раздумывали многие логики и ученые. Существует множество версий ее разгадки, и некоторые из них верны. Фейнман предложил предельно четкое объяснение.

Представьте, что стоите перед зеркалом, одной рукой указывая на восток, а другой — на запад. Махните «восточной» рукой. Отражение в зеркале махнет в том же направлении. Голова изображения находится наверху. «Западная» рука — на западе. Ноги стоят на земле. «Вроде бы все нормально», — говорит Фейнман. Проблема в оси, проходящей перпендикулярно зеркалу. Нос и ладонь оказываются перевернутыми: если нос повернут к северу, нос вашего двойника будет указывать на юг. И тут проблема становится психологической. Мы воспринимаем свое изображение в зеркале как *другого человека*. Поскольку мы не можем представить себя вывернутыми наизнанку, то представляем, будто прошли через зеркало, развернулись и встали к себе лицом. В процессе этого «разворота», который происходит только в нашей голове, право и лево меняются

местами. То же происходит с книгой. Строки в книге идут справа налево, потому что мы поворачиваем книгу по вертикальной оси лицом к зеркалу. С таким же успехом можно было бы повернуть ее вверх ногами — и тогда строки перевернулись бы.

Индивидуальные нарушения симметрии — родинки, расположение сердца, право- и леворукость — являются следствием случайного выбора, сделанного природой в процессе создания сложных организмов. Право- и леворукость в биологии закладываются на уровне органических молекул, которые могут иметь свои предпочтения. Таким свойством обладают, к примеру, молекулы сахаров, напоминающие винт с левой или правой резьбой. Химики могут создать любые молекулы сахара, но бактерии переваривают лишь «праворукие» сахара — те, что производятся из сахарной свеклы. Обычной сахарной свеклы, хотя эволюция могла с таким же успехом сделать эти молекулы «леворукими», как и в ходе индустриальной революции большее распространение могли бы получить винты с левой, а не правой резьбой.

Что касается микромасштаба — уровня взаимодействия элементарных частиц, — физики решили, что здесь природных различий между правой и левой стороной существовать не может. Казалось невообразимым, что в зеркальном отображении законы физики будут меняться; ведь не меняются же они, когда эксперимент проводят в другое время или в другом месте? Разве может нечто столь бестелесное, как частица, обладать правой или левой «резьбой», подобно винту или клюшке для гольфа для право- или леворуких? В квантовой механике симметрия сторон существовала под видом величины, называемой *четностью*. Если квантовое событие сохраняло четность (а большинство физиков предполагали, что так должно быть), его исход не зависел от пространственной ориентации. И наоборот, если природа вдруг наделяла частицы «рукостью», экспериментатор приходил к выводу, что четность в данном событии не сохранялась. Когда Мюррей Гелл-Манн учился в аспирантуре МТИ, ему нужно было решить программную задачу одного из курсов: вывести сохранение четности математическим методом, переведя координаты из левоориентированной системы в правоориентированную. Гелл-Манн потратил целые выходные, но так и не выполнил задание. Потом он сказал преподавателю, что сама задача сформулирована неверно: сохранение четности — физический факт, рассматриваемый в рамках конкретной теории, а не абсолютная математическая истина.

Четность вновь стала головной болью физиков-теоретиков в 1956 году, когда экспериментальные данные, полученные из

ускорителей, породили новую насущную проблему. Это была проблема тета-тау — двух странных частиц (согласно терминологии Гелл-Манна). Ученые столкнулись с типичными сложностями, каждый раз возникавшими при попытке структурировать ворох разрозненных данных из ускорителей. При распаде теты возникала пара пионов. При распаде тау — три пиона. Но во всем остальном тета и тау вели себя подозрительно схоже. Данные, полученные из космических лучей, а затем и из ускорителей, свидетельствовали, что масса и время жизни этих частиц были одинаковыми. Один экспериментатор в 1953 году зафиксировал тринадцать подобных фактов, а в 1956-м, к Рочестерской конференции, — уже более шестисот. Теоретики были вынуждены признать очевидное: тета и тау — на самом деле одна частица. Единственной проблемой оставалась четность: пара пионов была четным числом, тройка — нечетным. Если предположить, что при распаде частицы четность сохраняется, физикам ничего не оставалось, кроме как считать тау и тету разными частицами. Это жестоко противоречило их интуиции. Вскоре после окончания Рочестерской конференции Абрахам Пайс написал: «В поезде из Рочестера в Нью-Йорк я и профессор Янг поспорили с профессором Уилером на доллар, что тета- и тау-мезоны — две разные частицы; так профессор Уилер заработал два доллара».

Пари заключали все. Один из физиков спросил Фейнмана, насколько возможным тот считает получение в ходе эксперимента такого немыслимого результата, как нарушение принципа четности. Позднее Фейнман гордо вспоминал, что оценил шанс подобного исхода как пятьдесят к одному. Уже в Рочестере он сказал, что его сосед по гостиничному номеру, экспериментатор Мартин Блок, задался вопросом, а почему, собственно, четность не может нарушаться. (Позднее Гелл-Манн безжалостно подтрунивал над Фейнманом за то, что он задал вопрос от чужого имени.) В ответ кто-то нервно пошутил, что нельзя отметать даже самую невероятную возможность, а в официальном протоколе значилось:

«Допуская самый невероятный исход, Фейнман задал вопрос от имени Блока: возможно ли, что тета и тау являются двумя состояниями *одной и той же* частицы, не сохраняющей четность? Другими словами, возможно ли, что природа нашла уникальный способ предначертать право- и левоориентированность?»

Двое молодых физиков, Чжэньнин Янг и Чжэндао Ли, заявили, что начали исследовать эту проблему, но пока не пришли к конкретным выводам. Участникам конференции была настолько не по нраву идея нарушения четности, что один

ученый выдвинул идею о существовании некой неизвестной частицы, которая покидала место взаимодействия тета-тау, не имея ни массы, ни заряда, ни импульса. Она лишь несла с собой «некие странные пространственно-временны*е* трансформирующие свойства», как уборщик, вывозящий мусор на тележке. Гелл-Манн на это заявил, что не следует исключать другие, менее радикальные способы решения проблемы. Дискуссия продолжалась до тех пор, пока «председатель конференции» Оппенгеймер «не счел необходимым прервать этот полет фантазии».

Тем временем робкое предположение Фейнмана получило развитие. Ли и Янг начали исследовать данные. Для электромагнитного и сильного взаимодействия закон четности имел реальную экспериментальную и теоретическую основу: без сохранения четности упорядоченная система разваливалась. Однако для слабого взаимодействия, казалось, существует совсем другой закон. Ли и Янг прошерстили авторитетные тексты по бета-распаду, проверили формулы, изучили новейшую экспериментальную литературу по странным частицам и летом 1956 года пришли к выводу, что при слабом взаимодействии сохранение четности является не чем иным, как предположением, не имеющим прочной основы в виде результатов экспериментов или рациональной теории. Мало того, они поняли, что концепция странности Гелл-Манна представляет собой прецедент: при сильном взаимодействии симметрия сохраняется, при слабом — разрушается. Не откладывая в долгий ящик, они опубликовали работу, в которой уже официально заявляли о возможности нарушения четности при слабом взаимодействии и предлагали провести эксперимент, подтверждающий эту гипотезу. К концу года такой эксперимент провела группа ученых под началом Цзяньсюн Ву, коллеги Янга и Ли из Колумбийского университета. Это была непростая задача: ученые следили за распадом радиоактивного изотопа кобальта в магнитном поле при температуре, близкой к абсолютному нулю. «Верх» и «низ» в эксперименте определяло направление магнитной катушки: распадающийся кобальт «выстреливал» электроны либо симметрично влево и вправо, либо демонстрируя определенное предпочтение. Поджидая результаты эксперимента, Паули в Европе присоединился к спорщикам, он писал Вайскопфу: «Я не верю, что Господь — слабак и левша, и готов поставить круглую сумму, что эксперимент покажет симметричный результат». Но уже через десять дней обнаружилось, что он ошибался, а через год Янг и Ли получили Нобелевскую премию — и никогда еще между совершением открытия и вручением премии не проходило

так мало времени. И хотя результаты этого исследования по-прежнему оставались непонятными для многих физиков, их важность была несомненна: оказалось, что природа действительно различает право и лево в самых глубинных своих основах. Ученые тут же взялись за рассмотрение других симметрий: материи и антиматерии, обратимости времени (если пленку с экспериментом прокручивали от конца к началу, с точки зрения физики все выглядело правильно, только право и лево менялись местами). Как сказал один физик, «мы больше не пытаемся закручивать болты в темноте в плотных рукавицах. Теперь болты подносят нам аккуратно разложенными на подносе, и на каждом есть стрелочка с указанием направления резьбы».

В научном сообществе, занимающемся физикой высоких энергий, Фейнман был странной фигурой. Он был старше блестящих ученых одного поколения с Гелл-Манном, но моложе нобелевских лауреатов уровня Оппенгеймера. Не уклонялся от дискуссий, но и не инициировал их. Остро интересовался текущими проблемами (как показывают его вопросы, касающиеся проблемы четности), но поражал молодых физиков своим равнодушием к новейшим концепциям, особенно в сравнении с Гелл-Манном. На конференции 1957 года как минимум одному участнику пришло в голову, что Фейнман мог бы применить свой талант теоретика и решить вопрос, заданный им же год назад, а не отдавать пальму первенства Янгу и Ли. (Тот же участник заметил, что физики погрязли в самооправданиях: теоретики от Дирака до Гелл-Манна «наперебой уверяли, что никогда не считали закон четности чем-то важным», а экспериментаторы вдруг вспомнили о своих намерениях провести эксперимент, подобный опыту мадам Ву.) Внешне Фейнман выглядел абсолютно спокойным, как и всегда, но вдали от любопытных глаз терзался из-за своей неспособности найти проблему, достойную изучения. Он стремился держаться подальше от популярных исследовательских направлений. Понимал, что безнадежно отстал и не в курсе даже опубликованных наработок Гелл-Манна и других физиков высоких энергий, но не мог заставить себя прочитать научные журналы и рукописи, которые ему ежедневно приносили и которые накапливались у него на полках. Каждая из этих работ напоминала ему детектив, где последняя глава идет в самом начале. Ему же хотелось, прочитав завязку, узнать достаточно, чтобы уяснить проблему и самостоятельно ее решить. Среди физиков он был почти единственным, кто отказывался рецензировать научные работы для журналов. Следить за чужой мыслью от начала до конца, наблюдая за процессом решения проблемы со стороны, казалось

ему невыносимым. (Нарушив же собственное правило, он мог быть крайне жестоким. Например, в рецензии на одну статью он написал: «Мистер Берд весьма опрометчиво поступает, приводя в своей работе так много ссылок на другие научные труды; ведь если кто-то из его студентов заглянет в один из этих трудов, он никогда больше не станет читать работу Берда». Потом он умолял редактора не сообщать автору статьи о его отзыве: «Ведь мы с мистером Бердом хорошие друзья».) Зацикленность Фейнмана на поиске необычных, нестандартных путей обижала даже тех его коллег, которых он хотел похвалить. Например, он восхищался открытием, которое считалось второстепенным, или проявлял интерес к альтернативной версии теории, казавшейся недостойной внимания или слишком своеобразной. Некоторые теоретики стремились сотрудничать с коллегами, тем самым задавая тон и направление исследований для целых групп ученых. Гелл-Манн предпочитал работать именно так. Но Фейнману подобная манера была не по нраву; хотя его диаграммами пользовалось целое поколение физиков, он все равно был недоволен.

Иногда он делился своими переживаниями с сестрой Джоан, которая тоже начала строить научную карьеру: училась в докторантуре в Сиракузском университете и специализировалась на физике твердого тела. Фейнман наведывался к ней в Сиракузы, когда ездил в Рочестер. Он жаловался ей, что не может работать. А она напоминала ему о тех идеях, которыми он когда-то с ней делился, а потом бросал, так и не описав их в научных публикациях. «Ты делаешь это постоянно, — повторяла она. — Помнишь, ты говорил мне, что Блок, вероятно, прав? И что ты сделал, чтобы подтвердить его предположение? Когда тебе в голову приходят такие идеи, ради всего святого, записывай их!» Также Джоан вспомнила, что однажды он, размышляя о возможной связи между бета-распадом и распадом странных частиц под влиянием слабого взаимодействия, поделился с ней идеей создания универсальной теории слабых взаимодействий, и призвала его продолжить исследования, чтобы посмотреть, куда приведет эта нить.

В результате классического бета-распада нейтрон превращается в протон, выделяя электрон и нейтрино — еще одну частицу, не имеющую массы и заряда, которую очень трудно обнаружить. Заряд при этом сохраняется: у нейтрона его нет; у протона $+1$, у электрона -1. В семействе мезонов происходит то же самое: при распаде пиона образуются мюон (частица наподобие электрона, но более тяжелая — в 207 раз) и нейтрино. При наличии хорошей теории можно было бы предсказать как

скорости распада в таких процессах, так и энергетические уровни выделяемых частиц. Однако существовали сложности. Необходимо было согласовать спины частиц, а при расчете спинов возникала проблема с их направлением. Особенно явно это проявлялось у безмассовых нейтрино. Поэтому открытие нарушения четности мгновенно преобразило теорию слабых взаимодействий для Фейнмана, Гелл-Манна и других ученых.

Анализируя различные виды взаимодействия частиц, теоретики создали систему классификации, включавшую пять отчетливых трансформаций волновых функций. В каком-то смысле это была систематизация известных алгебраических техник; но ее также можно было назвать классификацией типов виртуальных частиц, возникавших в различных взаимодействиях на основе спинов и четности. Физики использовали сокращения S, T, V, A и P, обозначавшие *скалярные, тензорные, векторные, векторно-осевые* и *псевдоскалярные* частицы. Различные виды слабых взаимодействий обладали очевидным сходством, но в связи с этой схемой классификации возникал вопрос. На Рочестерской конференции 1957 года Ли отметил, что для большинства опытов с бета-распадом характерно скалярное и тензорное взаимодействия, однако в новых экспериментах с нарушением четности при распаде мезонов чаще проявляется векторный и векторно-осевой тип. Все это указывает на то, что в первом и втором случае действуют разные законы физики.

Читая статью Ли и Янга накануне конференции — Джоан велела ему сесть за стол, как студенту, и прочесть публикацию от корки до корки, — Фейнман увидел альтернативный способ сформулировать закон нарушения четности. Ли и Янг описали ограничения, связанные со спином нейтрино. Фейнману эта идея понравилась, и, урвав пять минут у другого выступающего, он упомянул об этом. Затем вернулся к истокам квантовой механики — не только к уравнению Дирака, но и к уравнению Клейна — Гордона, которое они с Велтоном вывели, будучи аспирантами МТИ. Используя интегралы по траекториям, он пошел дальше и получил — или открыл — уравнение, слегка отличающееся от дираковского. Это было более простое равенство из двух компонентов (у Дирака их было четыре). «И я задал себе такой вопрос, — сказал Фейнман. — Что, если бы мое уравнение возникло раньше уравнения Дирака? Ведь оно имеет абсолютно те же следствия и для его описания тоже можно использовать диаграммы».

В диаграммах, описывающих бета-распад, добавлялось поле нейтрино, взаимодействующее с полем электрона. Когда Фейнман внес в свое уравнение необходимые изменения, он

сделал вывод, что «этого, разумеется, сделать нельзя, потому что нарушается четность. Но так как при бета-распаде четность не сохраняется, то это возможно!»

Оставались две сложности. Первая: спин у Фейнмана получился с противоположным знаком. Нейтрино должен был иметь спин, противоположный предсказанному Ли и Янгом. Вторая: в формуле Фейнмана использовалось векторное и векторно-осевое взаимодействие, а не скалярное и тензорное, которые, как известно, были верными.

Тем временем проблема создания теории слабых взаимодействий занимала не только Фейнмана, но и Гелл-Манна. И они были не единственными: Роберт Маршак и его молодой коллега Джордж Сударшан также склонялись к тому, что правильными были векторное и векторно-осевое взаимодействия. Именно Маршак впервые предположил, что существует два типа мезонов, — это произошло на конференции в Шелтер-Айленде в 1947 году. А летом 1957 года, пока Фейнман был в Бразилии, Маршак и Сударшан встретились с Гелл-Манном в Калифорнии и изложили ему свою теорию.

Фейнман вернулся в конце лета, решив в кои-то веки изучить последние результаты лабораторных исследований и довести до конца свою теорию слабых взаимодействий. Он посетил лабораторию Ву в Колумбийском университете и попросил экспериментаторов из Калтеха сообщать ему все данные, которые они получали в последнее время. В данных царил полный кавардак, одно противоречило другому. Один из калтеховских физиков сказал, что Гелл-Манн даже начал задумываться о правильности не скалярного, а векторного взаимодействия. Как позднее вспоминал Фейнман, именно это предположение навело его на верную мысль.

«В тот самый момент я вскочил со стула и воскликнул: “Тогда все ясно! Я понял, в чем дело, и завтра утром вам все объясню”. Они тогда подумали, что я шучу. Но я не шутил. Мои мысли освободились от ограничивающего их стереотипа, будто все, что мне нужно, — скалярное и тензорное взаимодействие; моя теория допускала возможность векторного и векторно-осевого произведения — и это был правильный ответ, точный и безупречный».

Он набросал черновик публикации за пару дней. Однако Гелл-Манн решил, что тоже должен написать работу. По его мнению, у него были свои причины сосредоточиться на векторном и векторно-осевом взаимодействии: он хотел вывести универсальную теорию. Электромагнитное взаимодействие зависело от векторной связи, а странные частицы «предпочитали»

векторное и векторно-осевое. К тому же ему не нравилось, что Фейнман, казалось, столь легкомысленно пренебрегает своими идеями.

Тут в дело вмешался декан физического факультета Роберт Бахер. Он не хотел, чтобы между учеными росла напряженность и чтобы два физика Калтеха создали противоборствующие версии одного открытия, поэтому попросил Фейнмана и Гелл-Манна написать совместную работу. В университетских коридорах и столовой коллеги напрягали уши, пытаясь уловить хотя бы обрывки разговоров Фейнмана и Гелл-Манна, поглощенных обсуждениями. Несмотря на различия в подходах, они мотивировали друг друга. Фейнман говорил: «Смотри, вот эта штука пролетает вот здесь, и остается только слепить всё вместе — вот так». Гелл-Манн перефразировал: «Заменяем элементы и интегрируем». Их статья вышла в Physical Review в сентябре — за несколько дней до того, как Маршак и Сударшан представили аналогичную теорию на конференции в итальянском городе Падуя. Но теория Фейнмана и Гелл-Манна оказалась глубже во многих важных аспектах. Она распространяла принципы, управляющие процессом бета-распада, на другие типы взаимодействия частиц; многие годы спустя их провидческие данные полностью подтвердились экспериментально. Они также выдвинули идею о том, что существует вид тока, подобного электрическому (потоку электрического заряда), который имеет свойство сохраняться; развитие этой концепции стало главным инструментом в физике высоких энергий.

Фейнман позднее вспоминал их сотрудничество. Гелл-Манну оно далось нелегко; особенно ему не нравились двухкомпонентные формулы: он считал их ужасным способом исчисления. Работа, безусловно, носила фейнмановский отпечаток: он применял формулы квантовой электродинамики, которые использовал еще в своем первом исследовании 1948 года, посвященном интегралам по траекториям. Гелл-Манн позволил ему вставить в текст примечание личного характера: «Один из авторов представленной работы всегда питал особое пристрастие к этому уравнению». Зато фразы вроде «подход авторов к нарушению четности имеет определенную степень теоретически разумного обоснования» были совершенно не в стиле Фейнмана. Очевидным было и стремление Гелл-Манна представить теорию как максимально универсальную и передовую. В сравнении с другими важнейшими открытиями современной физики их находка была более глубокой и менее понятной. Но если бы Фейнман, Гелл-Манн, Маршак и Сударшан не совершили это открытие в 1957 году, скоро это сделал бы кто-

то другой. Однако для Фейнмана суть этого открытия, как и любого другого достижения в его карьере, состояла в первую очередь в познании законов природы. Образцом для подражания ему всегда служил Дирак и его «волшебное» уравнение, описывающее движение электрона. Теперь можно было в определенном смысле сказать, что Фейнман открыл такое же уравнение для нейтрино. «В какой-то момент я понял, как работает природный механизм, — вспоминал он. — Я увидел в этом элегантность и красоту. Это было как озарение».

Для других физиков «Теория взаимодействия Ферми» длиной всего шесть страниц стала маяком в мире научной литературы. Казалось, она возвещала о начале плодотворного сотрудничества двух великих умов, идеально дополнявших друг друга. Оба занимали четкую теоретическую позицию, неоднократно заявляли об универсальности, простоте, сохранении симметрии, широком спектре применения теории в будущем. Оба исходили из общих принципов, а не из частных расчетов динамики, и делали ясные предсказания относительно новых видов распада частиц. Они перечисляли эксперименты, противоречащие их теории, и утверждали, что эти эксперименты ошибочны. Никогда еще теоретическая физика столь блестяще не заявляла о своем превосходстве.

Жизнь семейная

В 1958 году купальный костюм бикини, состоявший из двух частей и названный так в честь крошечного тихоокеанского атолла, где в 1940–1950-е годы проводились испытания атомных и водородных бомб, еще не завоевал популярность на американских пляжах. Но Фейнман увидел девушку в таком костюме на песчаном берегу Женевского озера и расположился рядом. Он приехал в Женеву на конференцию ООН по мирному применению атомной энергии. Фейнман готовил выступление от своего имени и имени Гелл-Манна и вот что собирался сказать собравшимся:

«Мы прекрасно отдаем себе отчет в том, как хрупки и неполны наши знания на данном этапе, и осознаём, какое многообразие возможностей, пока существующих лишь в теории, открывается перед нами… Какова значимость системы, объединяющей все эти взаимосвязанные симметрии, частичные симметрии и асимметрии?»

В том году ежегодная Рочестерская конференция проводилась не в Рочестере. Фейнман выступил с докладом о теории слабых взаимодействий, поразив слушателей экспрессивными жестами, с помощью которых наглядно изображал спины частиц и их четность. Ему только что исполнилось сорок лет. Стояла весна, и девушка в голубом бикини сказала, что вода в Женевском озере еще холодная. «Вы говорите по-английски?» — удивился он. Оказалось, что ее зовут Гвинет Ховарт, и родом она из деревни в английском Йоркшире. Девушка путешествовала по Европе и подрабатывала няней. Тем же вечером он пригласил ее в ночной клуб.

Между тем информация об открытии нарушения четности промелькнула в газетах. Для читателей, следивших за научными исследованиями и стремившихся лучше понять природу Вселенной, нарушение симметрии могло бы стать важным уроком из области физики высоких энергий, несмотря на то, что существовало лишь в сфере взаимодействия частиц с очень коротким временем жизни. Однако универсальная теория слабых взаимодействий и замена скалярного и тензорного взаимодействия векторным и векторно-осевым не оказали никакого влияния на культурное сознание, хоть и привлекли внимание ученых год спустя. Дело в том, что в 1958 году умы американской общественности занимало другое, более шокирующее научное открытие — новость, в очередной раз подтвердившая реальную власть науки.

Четвертого октября 1957 года на земную орбиту вышла алюминиевая сфера величиной с надувной пляжный мяч. Это был первый[157] спутник. Неожиданное присутствие этого предмета над головами американцев и его беззаботный сигнал — бип, бип, бип, — постоянно звучавший по американскому радио и телевидению, породили у населения волну беспокойства, сравнимую с эффектом от взрыва атомной бомбы. (Вечером 4 октября Фейнман пришел на пикник, который биолог Макс Дельбрюк устроил у себя на заднем дворе, и принес с собой маленький серый радиоприемник, по-видимому самодельный. Попросил провод, быстро настроил приемник, поднял палец, призывая к тишине, и улыбнулся, услышав сигнал «бип, бип, бип».) «Красная Луна взошла над Штатами», — прокомментировал журнал Time, немедленно возвестив о начале «новой эры в истории» и «очередной мрачной главы в холодной войне». Newsweek назвал запуск спутника «красным наступлением», свидетельствующим о «превосходстве его создателей и в делах земных». Почему в США не было столь же успешной космической программы? На пресс-конференции обеспокоенный президент Эйзенхауэр сказал: «Буду откровенен. Я не ученый». Воспользовавшись шансом, директор Американского института физики заявил, что, если научное образование в США не догонит советское, «наш образ жизни обречен». Его услышали, и после запуска спутника все усилия были направлены на подготовку научных кадров. Внимание прессы обратилось на американских физиков. Time выделил Фейнмана как одного из многообещающих представителей молодого поколения:

«Кудряв и привлекателен, не носит галстук и пиджак, увлеченный путешественник… его очаровали ритмы самбы… играет на барабанах, разгадывает шифры, взламывает замки…»

Не остался в стороне и Гелл-Манн:

«Он сформулировал “теорию странности” — объяснил поведение новых частиц с точки зрения законов физики. В Калтехе Гелл-Манн тесно сотрудничает с Фейнманом, изучая теорию слабых взаимодействий. Стоя у доски, они искрят идеями, как два огнива; поочередно хлопают себя по лбу, увидев, как сосед пришел к более простому решению, и спорят из-за деталей».

Но самое пристальное внимание общественности той осенью было приковано к Эдварду Теллеру, напряженно следившему за ходом холодной войны. После запуска спутника Теллер заявил: «Мы упускаем пальму научного и технического первенства» (хотя его заявление не имело под собой конкретных оснований; напротив, были свидетельства, доказывавшие обратное). Он не

только утверждал, что возможна прямая атака Советского Союза, но и упоминал о более серьезной угрозе. «Полагаю, они нанесут нам удар другим способом», — говорил он. Теллер считал, что не за горами технологическое господство СССР над свободным миром. «Их продвижение в науке будет таким быстрым и оставит нас так далеко позади, что весь мир начнет жить по их правилам, и мы ничего не сможем сделать».

С приходом зимы смятение не ослабло, и вышедшая в Reader's Digest статья под заголовком «Не время для истерии» не встретила понимания. Чиновник из Госдепартамента наведался в Калтех и сообщил, что было бы весьма желательно, чтобы Фейнман и Гелл-Манн выступили на Женевской конференции в качестве противовеса советским ученым. Фейнман согласился, хотя ему было неприятно, что к науке примешивается пропаганда.

Когда Госдепартамент предложил зарезервировать для него гостиницу, он отказался и сам нашел себе жилье — комнату в заведении под названием «Отель-сити»; эта гостиница напомнила Фейнману ночлежки в Альбукерке, где они с Фрименом Дайсоном останавливались во время дорожного путешествия. Он надеялся взять с собой женщину, с которой у него уже год был бурный роман, хотя их встречи и носили эпизодический характер: она была женой его коллеги-ученого. Летом 1957 года, когда Фейнман работал над теорией слабых взаимодействий, она уже ездила с ним в путешествие; теперь она согласилась встретиться после конференции в Англии, но ехать в Женеву отказалась. А он в это время встретил на пляже Гвинет Ховарт.

Гвинет рассказала, что путешествует по миру. Ей двадцать четыре года, ее отец — ювелир из маленькой йоркширской деревушки Рипонден. В Рипондене она работала библиотекарем и получала три фунта в неделю; потом устроилась на хлопковую фабрику — проверяла качество пряжи, — но решила, что жизнь в глубинке слишком скучна. Она сразу сообщила Фейнману, что у нее есть два бойфренда: полупрофессиональный бегун из Цюриха, вечно пропадающий на тренировках, и немец, оптик из Саарбрюкена. А он тотчас пригласил ее в Калифорнию и предложил работу: мол, ему нужна горничная. Пообещал помочь с оформлением иммиграционных документов и платить ей двадцать долларов в неделю. Ей показалось, что сорокалетние мужчины так себя не ведут; Фейнман также не был похож на других американцев, которых она встречала. Гвинет ответила, что подумает; так началось это необычное ухаживание.

«Я решила все-таки остаться здесь, — написала она ему в том же году. Йоханн, один из двух ее ухажеров, решил на ней жениться — видимо, из ревности. — Как видишь, встреча с тобой

сослужила мне хорошую службу… мы с Йоханном долго говорили и планировали совместную жизнь. Вначале нам, наверное, придется ютиться в одной комнате… А ты и правда думал, что я приеду? Тебе бы жениться еще раз или найти почтенную даму средних лет, которая вела бы хозяйство, чтобы люди не сплетничали».

Между тем личная жизнь Фейнмана не клеилась. На той же неделе он получил письмо от своей пассии, которая ясно давала понять, что между ними все кончено, и требовала денег — пятьсот долларов, добавляя, что «вряд ли вернет их до конца года». Она и раньше просила у него денег — якобы на аборт, но теперь призналась, что лгала и на самом деле потратила их на обстановку и ремонт дома.

«Я не могу больше встречаться с таким плейбоем, как ты. Я была смущена и заинтригована, видя, какое действие ты оказываешь на женщин, которые звонили тебе в моем присутствии. Иногда ты бросал трубку, весь дрожа, с пеной у рта… Я знала, что ты способен на подлость и что ты не ценишь мою любовь и привязанность, поэтому хотела как-то компенсировать это ужасное чувство».

Она знала все о женщинах, с которыми он встречался после развода; знала даже слишком много. Она назвала четверых и рассказала о полученном ею анонимном письме, которое было адресовано «захватчице» и в котором говорилось: «Я знаю, что ты встречаешься с грязным Диком, чертовым извращенцем Фейнманом. Он никогда на тебе не женится. Скажи ему, что ждешь ребенка, и заработаешь 300–500 долларов».

Она была в шоке от грязных слухов, которые ходили среди физиков о нем и его женщинах; поговаривали даже, что он подцепил сифилис. «Тебе нужно жениться, — писала она. — Все низости, о которых ты говоришь, происходят оттого, что ты не женат. Приходя в ночные клубы и на стриптиз, ты сублимируешь свои желания. Для здорового мужчины это нормальное развлечение, но для неудовлетворенного жизнью — лишь временный побег от реальности. Я знаю об этом, потому что в прошлом году в Рио после успешных экспериментов с бета-распадом ты был счастлив…»

«Найди себе настоящую спутницу, ту, которую полюбишь и будешь уважать. Наслаждайся любовью, пока она еще свежа и спонтанна…»

Как-то раз эта женщина забрала у него золотую медаль, которую он получил вместе с Премией Эйнштейна. Медаль по-прежнему была у нее.

…Фейнман умолял Гвинет Ховарт передумать. А в ноябре

случилось так, что Гвинет с Йоханном поссорились и она начала оформлять иммиграционные документы в Штаты через консульство в Цюрихе. Фейнман обратился к адвокату, и тот предупредил, что привозить женщин в США «с аморальными целями» опасно и лучше найти Гвинет работу на стороне. Коллега Фейнмана по Калтеху Мэтью Сэндс согласился подписать документы. Фейнман подсчитал расходы на дорогу (Гвинет заметила, что она столько не заработала библиотекарем в Йоркшире и за год): перелет до Лос-Анджелеса — 394 доллара 10 центов; либо самолет до Нью-Йорка — 290 долларов 10 центов плюс автобус до Лос-Анджелеса — 79 долларов 4 цента, включая налоги.

Она была взволнована, но все еще сомневалась. «Ты же сообщишь мне, если решишь снова жениться или появится другая причина, почему мне не стоит приезжать?» Гвинет хотела, чтобы он знал: у нее есть и другие варианты. Например, Армандо, с которым она познакомилась, катаясь на лыжах, или парень, который все время посматривает на нее на занятиях в школе иностранных языков («Он проводил меня почти до самого дома… мне бы хотелось, чтобы наши отношения оставались платоническими, но, боюсь, он другого мнения…»). Но при этом в ее письмах то и дело возникали картины будущей семейной жизни, к которой Фейнман в последнее время стремился всей душой. Например, она писала, что ухаживает за «чудесным ребенком»: «Как бы я хотела, чтобы у меня был такой же малыш!» Новый приятель по имени Энгельберт купил ей лыжи; она научилась готовить фазана, курицу, гуся и зайца под специальными соусами («Видишь, какие я делаю успехи?»).

Тем временем бывшая пассия не оставляла его в покое. Она все рассказала мужу, с которым переехала из Калифорнии на Восточное побережье. Ей нужны были деньги. К тому же она считала, что Фейнман ею воспользовался, злилась и не стеснялась писать ему об этом. «В своей особой сфере ты очень умен, но совершенно не разбираешься в человеческих отношениях», — заявила она. И добавила, что его золотая медаль «в надежном месте», как и экземпляр «Рубаи» Омара Хайяма с рисунками, аккуратно раскрашенными Арлин.

Фейнман уговаривал ее приехать. «Я упомянул о моем желании мести и других чувствах лишь для того, чтобы ты поняла, почему мне было бы трудно гарантировать тебе то, о чем ты просишь, — писал он. Он по-прежнему хотел на ней жениться. — Я знаю, что считается правильным, а что неправильным, но эмоции — злость, ненависть, жажда мести — как клубок змей в бочке, и лишь разум и доброе сердце не дают

им вырваться наружу… Это пугает и внушает неуверенность. Но попробовать стоит».

Она отказалась встретиться, хотя ее захлестнули теплые воспоминания: как они строили песчаный замок на пляже с толпой мальчишек; ночевали в палатке под звездами в национальном парке Джошуа-Три, и Фейнман восторженно колдовал над ярко-зеленой газовой горелкой. Как однажды дождливым воскресным вечером он показал ей потрепанный чемодан, в котором хранились все письма и фотографии Арлин. И в то же время она помнила, как в приступе гнева он назвал ее проституткой — жестокое словесное оскорбление, которым бросался и раньше. «А мне, между прочим, нравились и моя работа, и мой начальник», — написала она.

А вот воспоминания ее мужа не отличались теплотой. Однажды в гостях он услышал, как кто-то рассказывает анекдот про Фейнмана, и выпалил, что знает историю получше, но тут же осекся. Через несколько дней он написал Фейнману письмо, требуя возмещения ущерба. «Вы грубо и беспринципно воспользовались своим положением и финансовыми возможностями, соблазнив впечатлительную замужнюю женщину, — написал он. Неужели Фейнман забыл о своем первом браке, о том, как тяжело ему пришлось? — Из-за вас между мной и супругой возникло отчуждение. Вы обольстили ее своим вниманием и подарками, втайне планировали увлекательные путешествия… Я считаю, что вы должны заплатить за потворство своим эгоистичным желаниям». Он потребовал выплатить 1250 долларов. Фейнман отказался.

В это время Гвинет Ховарт писала, что Энгельберт принес на празднование ее двадцатипятилетия коньяк и шоколад; что она решила пойти на курсы стенографисток и машинисток. «Тебе же нужен кто-то, кто будет о тебе заботиться?» — спрашивала она. Фейнман отправил в консульство в Цюрихе письменное свидетельство, поручившись за нее и гарантируя ей финансовую поддержку в случае необходимости («Умная девушка с хорошим характером, прекрасно готовит и выполняет работу по дому»). Гвинет поблагодарила его, но тут же упомянула, что встретила араба, молодого человека с безупречными манерами, с которым у нее завязались любовные отношения. Теперь ей приходилось избегать встреч с Энгельбертом, чтобы тот не заметил след от засоса у нее на шее. Она продолжала оформлять иммиграционные документы: заполняла многостраничные анкеты, которые должны были гарантировать, что она не коммунистка; отвечала на вопросы, приводившие ее в ярость, — благонравна ли она и не отличается ли сексуальной

распущенностью. Какой бюрократической логикой руководствовались власти США, требуя от нее заверений в целомудренности и высокой нравственности? По какому моральному праву они задавали эти вопросы?

Фейнман же пытался утихомирить мужа своей бывшей любовницы: «…Прости ее, и пусть она будет счастлива… ваша любовь станет лишь крепче и глубже после того, как вы избавитесь от обид и поймете, через что вам пришлось пройти».

«Хорошая мысль, — ответил муж, — но почему бы тебе самому не воспользоваться своим советом, раз ты так долго наслаждался общением с моей женой… И только не надо рассказывать об опыте своих родителей и общества — меня этим не проймешь». Он подключил к делу адвокатов, которые отправляли Фейнману письма с угрозами от его имени. Адвокаты Фейнмана, в свою очередь, посоветовали ему не соглашаться на выплату компенсации, полагая, что все само утрясется. Последнее слово оставалось за его бывшей возлюбленной.

«Надеюсь, ты счастлив со своей горничной. Теперь тебе всегда будет с кем заняться сексом. Кажется, я начинаю понимать, что ты имеешь в виду под “хорошими отношениями”. Вот только не пойму: почему ты так боишься брака? Для тебя это слишком скучно? Мне кажется, секс без любви не приносит удовлетворения и радости, которую испытываешь, когда желаешь счастья другому человеку, полностью доверяешь ему, говоришь правду и даришь свои чувства без остатка. Все остальное — похоть, совокупление, как у животных. Может, поэтому женщины сменяются у тебя так часто».

Через полгода она наконец вернула его медаль.

Когда Гвинет получила визу, то удивилась его восторженной реакции. «Ну наконец-то! — писал он. — Как же я обрадовался, узнав, что ты все-таки приезжаешь!»

«Ты нужна мне больше, чем когда-либо… Я чувствую, что с твоим приездом стану намного счастливее. Я тоже буду заботиться о тебе. Как только ты приедешь, я возьму на себя ответственность за то, чтобы ты была счастлива и ничего не боялась».

Повседневный быт Фейнмана был организован с максимальной простотой: ничто не должно было отвлекать его от работы. Когда летом 1959 года Гвинет Ховарт наконец приехала к нему, то обнаружила в его гардеробе пять одинаковых пар обуви, несколько темно-синих саржевых костюмов и белые рубашки, которые он носил с расстегнутыми верхними пуговицами. (Потом она незаметно, чтобы он постепенно привыкал, начала подсовывать ему цветные рубашки, начав с самых светлых

пастельных тонов.) Радиоприемника и телевизора в доме не было. Фейнман носил ручку в нагрудном кармане рубашки, убирая ее в специальный защитный футляр, и имел привычку хранить ключи, билеты и мелочь в одном и том же кармане, чтобы не вспоминать, куда их положил.

Поначалу он никому не рассказывал о том, что Гвинет живет с ним, — лишь нескольким близким сотрудникам. Она, как и обещала, полностью взяла на себя заботы о хозяйстве. Фейнман души не чаял в своей красавице-служанке. Он научил ее водить и ездил на заднем сиденье автомобиля, уступив ей место за рулем. Гвинет переживала, что он считает ее легкомысленной; однако в его глазах она была рассудительной и независимой. Первое время она нарочно искала романтических встреч с мужчинами, и на смену немцу-оптику пришел биржевой брокер из Беверли-Хиллс. Гвинет и Ричард вместе посещали вечеринки и демонстративно уходили с них в разное время, как будто не жили под одной крышей. Но постепенно коллеги Фейнмана стали догадываться, что его отношения с Гвинет, казавшиеся исключительно деловыми, перерастают во что-то большее. Однажды — это случилось следующей весной — он понял, что рядом с ней чувствует себя счастливым, но не знает, как сделать следующий шаг. Тогда он дал самому себе срок в несколько недель и, отметив дату в календаре, решил, что, если к тому моменту его чувства не изменятся, он попросит руки Гвинет. По мере приближения этого дня сдерживаться становилось все труднее. Накануне вечером, не объясняя причины, он не давал ей спать до полуночи. И в полночь сделал предложение.

Они поженились 24 сентября 1960 года в роскошном отеле «Хантингтон» в Пасадене. Фейнман спрятал машину, чтобы никто не привязал к ней жестянки[158]; через несколько минут после отъезда они встали на шоссе: в баке закончился бензин. «Вот тебе и начало семейной жизни», — усмехнулся он. Мюррей Гелл-Манн за несколько лет до этого взял в жены англичанку, с которой познакомился в Институте перспективных исследований; он шутил, что Фейнман повторяет за ним — тоже обзавелся женой-англичанкой и маленькой коричневой собачкой.

Фейнманы и Гелл-Манны купили дома по соседству в Альтадене. Этот пригород раскинулся к северу от кампуса, в окружении высоких холмов, задерживающих лос-анджелесский смог. Ричард часами обучал свою собаку Киви сложным трюкам; его мать, которая переехала в Пасадену, чтобы быть поближе к сыну, шутила: «Чем бы дитя ни тешилось». Гвинет развела сад с цитрусовыми деревьями и экзотическими цветами, которые никогда бы не пережили йоркширскую зиму. В 1962 году у них

родился сын Карл; через шесть лет они удочерили девочку, Мишель. Друзьям Ричарда стало ясно, как сильно он хотел детей. Мюррей и его жена Маргарет иногда приходили в гости; в тот период у них с Фейнманами были самые теплые дружеские отношения. Одна картина навсегда врезалась Гелл-Манну в память: как его друг бросает шарики из скомканных газет в камин на растопку, превращая это незамысловатое действие в веселую игру. (А Фейнман обладал даром превращать в игру любое, самое банальное действие.) Собачка бегала взад-вперед по его команде, он радостно окликал Гвинет, и Мюррею чудилось в этих моментах что-то волшебное.

От квантовой электродинамики к генетике

«Привет, дорогая!

Мы с Мюрреем не спали до глубокой ночи и спорили, пока хватало сил. А проснулись уже над Гренландией…»

Фейнман и Гелл-Манн летели в Брюссель на конференцию, посвященную «нынешнему положению дел в квантовой электродинамике». Конференция пробудила ностальгию по былым временам. Приехал Дирак, и Фейнман снова получил возможность выступать вместе со своим давним героем. Впрочем, Дирак так до конца и не примирился с перенормировкой, позволившей избавиться от бесконечностей, которые были главной проблемой его старой теории. Перенормировка казалась ему подлым, лишенным основания трюком, приемом, который не имел отношения к физике и при помощи которого можно было просто-напросто выбросить из уравнения «неудобные» величины. Большинству физиков позиция Дирака казалась старческим неприятием нового — в данном случае новых идей, которые имели успех, в то время как его собственная теория развалилась. Он напоминал им Эйнштейна с его знаменитым ворчливым нежеланием принять квантовую механику — и, как и Эйнштейна, Дирака трудно было списать со счетов. Честные физики, по крайней мере, понимали его сомнения, даже если приписывали их возрастному ухудшению интуиции. Возраст плохо влиял на ученые умы. Жизненный опыт и накопленная вместе с ним мудрость не представляли ценности для науки. Фейнман остро и болезненно осознавал, насколько правдив шутливый стишок, авторство которого приписывалось самому Дираку и который время от времени кто-нибудь вывешивал на дверь своего кабинета в Калтехе.

Преклонный возраст — главный враг,
Что страх внушает физикам.
Уж лучше помереть, чем стать
Тридцатилетним шизиком.

Фейнман понимал претензии Дирака к перенормировке — возможно, лучше, чем кто-либо из его коллег, создателей новых методов. Квантовая электродинамика стала невиданным триумфом теоретической физики. Для того чтобы выполнить вычисления в первом-втором приближении, Фейнман и Швингер тратили часы и недели работы. Теперь эти расчеты можно было

повторить совсем с другой, куда более совершенной степенью точности при помощи компьютеров и сотен фейнмановских диаграмм. Некоторые физики-теоретики и их аспиранты посвящали вычислениям годы своей карьеры. Они складывали и вычитали множество элементов, все глубже погружаясь в бесконечную череду расчетов. Кому-то такая работа казалась крайне неблагодарной: элементы формулы, положительные или отрицательные, выглядели огромными, а в конце все сводилось к аккуратному итоговому числу. Математический статус этих расчетов оставался неясным. С точки зрения математики было непонятно, сойдутся результаты или нет. Но при практических вычислениях в квантовой электродинамике они всегда сходились: все более точные ответы совпадали с результатами экспериментов, проведенных на все более чувствительном оборудовании. Пытаясь передать степень соответствия теории эксперименту, Фейнман приводил такое сравнение: представьте, что мы измеряем расстояние от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса с точностью до толщины человеческого волоса. Но в то же время его беспокоила нефизическая природа вычислительного процесса: бесконечные исправления вносились без какого-либо осмысления того, какая коррекция, большая или маленькая, потребуется в дальнейшем. «Мы вычисляем элементы формулы, как слепой ощупывает чужую комнату», — сказал он, выступая в Брюсселе.

Тем временем другие ученые начали использовать понятие перенормировки для того, чтобы выделить возможные теории поведения частиц, которые могут быть описаны законами квантовой электродинамики. Дайсон первым понял, что перенормировка может стать критерием оценки. С практической точки зрения при помощи теории, к которой применима перенормировка, можно было производить расчеты. «Обратите внимание, как хитро ученые обернули все в свою пользу, — заметил физик и историк Сильван Швебер. — Расхождения, которые прежде считались огромной помехой, теперь стали ценным преимуществом». Гелл-Манн и молодые физики-теоретики пользовались этой концепцией с большим успехом. «Нам необходим определяющий принцип — такой, как перенормировка, — чтобы отделить квантовую теорию поля, имеющую отношение к реальному миру, от бесконечного множества других квантовых теорий», — заявил Стивен Вайнберг годами позже, понимая, однако, что здесь напрашивается вопрос «почему». Почему он решил, что правильные теории можно будет просчитать? Почему природа должна облегчать жизнь физикам? Фейнман испытывал почти те же сомнения, что и Дирак, поэтому продолжал называть перенормировку «игрой в наперстки», «черт-

те чем» и «надувательством».

К началу 1960-х годов он, казалось, потерял интерес к малоизученным областям физики высоких энергий. К тому времени в квантовой электродинамике настало затишье: она считалась проблемой решенной. На практике ее начали применять в физике твердых тел и прикладных сферах, например электротехнике; так, благодаря квантовой механике появился мазер — прибор, излучающий когерентные радиоволны высокой интенсивности в СВЧ-диапазоне, и его последователь — лазер. На некоторое время Фейнман погрузился в изучение теории мазеров, заложив ее основы при помощи своих интегралов по траекториям. Он также упорно работал над другой проблемой физики твердого тела — проблемой *полярона*, или электрона, движущегося в кристалле. Электрон искажает решетку кристалла и взаимодействует со своим полем деформации. Фейнман понял, что это типичный образец взаимодействия частицы с собственным полем. И снова его диаграммы и интегралы по траекториям нашли плодотворное применение. Но все это была работа незначительная; ее нельзя было назвать чем-то особенным, уникальным открытием физика, которого уже считали легендой (хотя Нобелевскую премию из года в год вручали все более молодым ученым, гораздо моложе Фейнмана).

Он никак не мог найти достойную тему для исследований. Его гонорар в Калтехе подняли до двадцати тысяч долларов, и он стал самым высокооплачиваемым сотрудником кафедры. Он благодушно замечал, что для физика-теоретика это многовато, и пора бы ему сделать что-то серьезное, заняться наконец «настоящей работой». Ему полагался год академического отпуска, но он не хотел путешествовать. Его друг Макс Дельбрюк — физик, занявшийся генетикой, — пытался заманить других теоретиков в свою группу в Калтехе, утверждая, что все самые интересные исследования теперь связаны с молекулярной биологией. И Фейнман решил: вместо того чтобы ехать в другую страну, он сменит поле деятельности.

В биологии не было разделения на теоретиков и практиков, так что лето 1960 года началось для Фейнмана с освоения азов лабораторной работы. Он учился выращивать штаммы бактерий на блюдцах, всасывать пипетками мельчайшие капли раствора, выявлять мутации и считать бактериофаги — вирусы, инфицирующие бактерии. Поначалу он проводил эксперименты лишь для того, чтобы овладеть техникой. В лаборатории Дельбрюка изучали главным образом генетику микроскопических живых существ, представлявших собой крошечные эффективные механизмы воспроизводства ДНК. Когда Фейнман прибыл в

полуподвальный этаж Черч-Холла, где находилась лаборатория, самым популярным вирусом для изучения был бактериофаг Т4, растущий на обычном штамме кишечной палочки.

С тех пор как Джеймс Уотсон и Фрэнсис Крик описали структуру ДНК — молекулы, несущей генетический код, — прошло менее десяти лет. Хотя официально эту систему хранения информации называли кодом, генетики визуализировали ее как карту и схему, печатный текст и запись на пленке, — механика этого процесса оставалась неясной. Было известно, что мутации изменяют последовательность нуклеотидов ДНК, но никто не мог понять, каким образом развивающийся организм считывает измененную карту или запись. Существует ли некий механизм биологического копирования, монтажа и склейки? В подвальной лаборатории Фейнман начал чувствовать себя как дома. Здесь все вокруг состояло из материи, и его это успокаивало. Он был хорошо знаком с сущностью оценочных экспериментов: по его словам, их целью было «понять, что известно, а что — еще нет». Он сразу разобрался, как работает центрифуга и как с помощью ультрафиолетового поглощения можно узнать, сколько ДНК осталось в пробирке. Биоматериал в экспериментах вел себя более беспорядочно: все росло, двигалось, и в точности повторить опыт оказывалось сложно.

Фейнман сосредоточился на изучении конкретной мутации вируса Т4, называемой rII. Этот мутирующий вирус обладал одним ценным свойством: он изобильно произрастал на штамме кишечной палочки B, но не рос на штамме K. Исследователь подсаживал бактерию штамма K к вирусу-мутанту и наблюдал, возникнут ли какие-либо признаки Т4. Если вирус появлялся, это могло означать одно: что-то случилось с мутацией rII, предположительно, она вернулась к своему исходному состоянию. Обратная мутация была довольно редким явлением; если же такое происходило и вирус снова начинал расти на бактерии штамма K, его можно было обнаружить с большой точностью — один на миллиард. Фейнман сравнил появление обратной мутации Т4 с рождением в Китае человека со слоновьими ушами, фиолетовыми пятнами и без левой ноги. Он собирал эти вирусы, изолировал их и снова подселял к бактериям штамма B, чтобы проверить, как они растут.

В некоторых блюдцах творилось нечто странное. Среди нормальных обратно мутировавших Т4 Фейнман обнаружил фаги, растущие не так, как нужно. Он назвал их «идиотскими r». Что происходит на уровне ДНК, когда они возникают? Об этом можно было только догадываться. У Фейнмана было две теории: либо участок мутации rII в нити ДНК претерпел второе,

дополнительное изменение, либо вторая мутация возникла на другом участке, но каким-то образом частично «обнулила» первую.

Инструментов прямого изучения генетической последовательности «буква за буквой», основная пара за основной парой, попросту не существовало. Но, упорно скрещивая «идиотскую» мутацию с исходным вирусом, Фейнман сумел доказать, что его вторая догадка оказалась верной: речь шла о взаимодействии двух мутаций, произошедших на соседних участках ДНК. Более того, он продемонстрировал, что характер обоих изменений был схожим: это были мутации rII. Таким образом, он обнаружил новый феномен — мутации, подавляющие друг друга внутри одного гена. Его друзья в лаборатории назвали их фейнтронами и попытались убедить Фейнмана опубликовать материалы своих исследований в научном журнале. Впоследствии аналогичное открытие сделали другие ученые; оно получило название *внутригенной супрессии*. Но Фейнман не смог предложить достойного объяснения своей теории. Биологи Калтеха не имели четкого представления о том, как читать генетический код и как информация, записанная в ДНК, трансформируется в биологически активные белки и более сложные организмы.

Сам того не осознавая, Фейнман подошел вплотную к одному из величайших открытий в современной генетике. Но преимущество все же осталось за специалистами: год спустя команда Фрэнка Крика из британского Кембриджа разгадала механизм прочтения генетического кода, и краеугольным камнем этого открытия стала внутригенная супрессия. Ученые выдвинули верное предположение: мутации действительно добавляли или аннулировали элемент цепочки ДНК, смещая ее вперед или назад. Первая мутация временно нарушает ход цепочки; вторая восстанавливает нормальную последовательность. В результате ученые вывели простейшую, хоть и странную, механическую модель расшифровки генетического кода: код следует читать линейно, одну основную пару за другой, от начала до конца. Вероятно, Крик изначально предполагал наличие такой модели. В 1966 году он заявил: «Загадка генетического кода, по сути, разгадана».

Так увлечение Фейнмана генетикой подошло к концу. Он мечтал вернуться к физике. И в свободное от измельчения микросом время стал все больше посвящать себя квантовой теории гравитации.

Призраки и черви

Изучение проблемы гравитации считалось занятием благородным, прямым продолжением величайших трудов Эйнштейна. Вместе с тем в начале 1960-х годов исследования гравитации находились на периферии теоретической физики высоких энергий, но никак не в центре. Близился полувековой юбилей общей теории относительности, а некоторые релятивисты и специалисты по математической физике по-прежнему бились над созданием квантовой теории гравитации, пытаясь квантовать гравитационное поле, как давно уже квантовали поля других сил. Это была трудная, запутанная работа. Квантовая теория поля для эйнштейновой гравитации означала, по словам Гелл-Манна, «квантово-механическое размытие понятий пространства и времени». Необходимость квантования гравитации не подтверждалась экспериментальными данными, но для физиков было просто невыносимо представлять мир, где одни поля подчинялись законам квантовой механики, а другие — нет.

С экспериментальной точки зрения сложность заключалась в том, что сила гравитации была очень слабой. Для возникновения ощутимого электромагнетизма достаточно всего нескольких электронов; для появления гравитации, отвечающей за падение листа с дерева, — величина, равная массе нашей планеты. Масштабы действия этих сил настолько различны, что при попытке их примирить теоретики сталкиваются с огромными математическими сложностями. Разница составляет 10^{42} — число, которому даже Фейнман не смог подобрать визуальный аналог. «Сила гравитации слаба, — заявил он на одной конференции, описывая свою работу по квантованию гравитационного поля. Черт-те что, а не сила!» В тот момент, видимо, под воздействием потустороннего вмешательства, с потолка рухнул оторвавшийся динамик и разбился об пол. «Она слаба — но ее нельзя игнорировать», — тут же нашелся Фейнман.

Он начал с теории Эйнштейна и принялся за расчеты, работая так же, как над квантовой электродинамикой; пытался рассмотреть задачу под разными углами, применяя необычные методы. В конце 1950-х годов специалисты по теории относительности все еще пребывали в растерянности по поводу природы гравитационного излучения. Они требовали от расчетов высокой математической точности, и это мешало им прийти к приближенному результату. Фейнман не сомневался в том, что гравитационные волны реальны. Вновь доверившись своей научной интуиции, он решительно двинулся вперед. Ему удалось

найти, как казалось, убедительные ответы на вопросы, которые были предметом споров среди теоретиков. Обладают ли гравитационные волны энергией? (Да — и он это доказал.) Можно ли обнаружить гравитационные волны, произведя микроскопические замеры в масштабе их длины? (Нет, заявил он. «Четкое доказательство существования волн можно обнаружить лишь в масштабах, превосходящих их длину, — написал он Виктору Вайскопфу, узнав, что старый друг интересуется его исследованиями в области гравитации. — И я не знаю никого, кто планировал бы провести такой эксперимент, а если б знал, то решил, что этот человек ненормальный».) В рамках дискуссии Фейнман решил не отвергать полностью возможность квантования гравитации. «Может, в этом случае квантовая механика не работает из-за величины расстояний? До чего же интересно жить в наше время и ломать голову над разгадкой таких удивительных тайн!» Он записывал свои диаграммы и высчитывал интегралы, но ни на шаг не приблизился к верному результату. Множественные вероятности не складывались в одну. И все же, соединив интуицию и графики, он понял, что одна уловка поможет ему ликвидировать все изъяны разом. Нужно было лишь добавить в расчеты «призраков» — вымышленные частицы, которые кружили бы вокруг диаграмм и появлялись в нужный момент, формируя петли, а затем снова исчезали в математическое никуда. Несмотря на странность идеи, она сработала, о чем он и сообщил на конференции по гравитации, состоявшейся в июле 1962 года в Варшаве.

Сама проблема гравитации переживала второе рождение. Открытия астрофизиков и исследования, связанные с теорией относительности, породили целый сонм новых научных понятий: черные дыры, белые карлики, квазары и другие. Фейнман же продолжал работу над гравитационным полем еще долгие годы. В своих изысканиях он применял калибровочную теорию Янга — Миллса. Внес существенный вклад в изучение гравитационного поля. Однако ему так и не удалось создать полноценную теорию, которую можно было бы опубликовать.

Вскоре собрания экспертов по теории относительности перестали приносить ему всякую радость, как и конференции по физике высоких энергий, — он начал их избегать. Один из выступающих в Варшаве совершенно серьезно заявил: «С 1916 года технический прогресс в нашей сфере идет крайне медленно и мучительно… Но мне кажется, математической физике свойственно несмотря ни на что стремиться даже к минимальным достижениям, и это является ее характерной чертой. Если же в нашем поле зрения появится нечто

действительно увлекательное, будет прекрасно…» На конференции американские физики смущенно пытались общаться с русскими. Перешучивались по поводу возможной установки микрофонов в гостиничных номерах. Фейнман разобрал телефон в варшавском «Гранд-отеле» и решительно не понял, зачем поляки накрутили в нем столько проводов, если там нет жучков. В перерыве он стал задирать одного русского ученого.

— И каковы ваши достижения в физике, Иваненко?

— Я написал книгу в соавторстве с Соколовым.

— А откуда я знаю, что это вы написали? Скажите, чему равен интеграл от *e* в степени минус *x* в квадрате от минус до плюс бесконечности? — Молчание. — А сколько будет один плюс один?

Исследования, представленные на конференции, разочаровали Фейнмана. Его собственная презентация прошла незамеченной, хотя впоследствии понятие частиц-«призраков» стало краеугольным камнем современной теории гравитационного поля: его взяли на вооружение и развили другие ученые. «Я не узнал ничего нового», — с досадой написал он Гвинет и отправил ей язвительную характеристику претенциозных научных трудов:

«Обязательные признаки научной работы: 1) совершенно непонятна, 2) отличается размытостью и неопределенностью, 3) содержит верные данные, которые и так известны, но сопровождаются длинным и сложным анализом, чтобы создавалось впечатление, будто ученый сделал важное открытие, 4) заключает в себе утверждение автора, основанное на его тупости, что некий очевидный и верный факт, который давно доказан и признан, на самом деле ошибочен (это хуже всего, потому что никакие аргументы не способны убедить идиота в обратном), 5) представляет собой попытку сделать нечто невозможное и определенно бесполезное, которая чуть позже будет признана неудачной или 6) ошибочной. И, естественно, “в нашей области ведутся активные исследования”, вся “активность” которых заключается в том, чтобы показать, к чему уже привела “активность” их предшественников (как правило, оказывается, что они заблуждались, не открыли ничего полезного либо сделали “перспективное” открытие)».

Научные сборища ему никогда не нравились. «Как будто черви пытаются выбраться из бутылки, заползая друг на друга».

Но, несмотря на недовольство Фейнмана, его выступление в Варшаве стало новой главой, положившей начало применению интегралов по траекториям в решении глубочайших космологических проблем. В конце 1950-х ни он сам, ни другие

теоретики не использовали этот подход в физике высоких энергий. Лишь намного позже некоторые ученые применили интегралы по траекториям к самой структуре пространства и времени. Они стремились унифицировать пространственно-временную топологию, суммировав все возможные вселенные. Сам Гелл-Манн говорил, что функциональные интегралы Фейнмана могут оказаться не просто методом, не просто альтернативной формулировкой, а «реальным фундаментом квантовой механики и, следовательно, теоретической физики».

Меньше малого

В то время казалось, что современная физическая наука совсем отошла от мира привычных масштабов. Исследования в области физики высоких энергий переместились в самый низ размерной шкалы, выйдя за пределы микромира в сферу невообразимо маленьких частиц с кратчайшим временем жизни. В ходу было слово «миниатюризация». Инженеры и производители тоже имели дело с мелкими масштабами, правда, не столь мелкими, как в физике частиц. Транзистор, изобретенный чуть больше десятилетия назад в лаборатории Белла, получил повсеместное распространение. А это означало появление радиоприемников на батарейках в жестком пластиковом корпусе, которые умещались на ладони. Исследователи искали способы уменьшить размеры приборов, например катушечных магнитофонов, которые тогда были схожи с чемоданами. Компьютеры, раньше занимавшие целые комнаты, теперь были величиной с автомобиль.

Фейнман понимал, что инженеры еще не совсем осознали свои возможности. «Говорят, на рынке появился прибор, с помощью которого можно записать “Отче наш” на булавочной головке, — сказал он в конце 1959 года на ежегодном собрании Американского физического общества в Калтехе. — Но это еще ничего, — добавил он и призвал ученых двигаться дальше, внутрь атома. — Там, внутри, нас ждет мир невообразимо меньших масштабов». На булавочной головке могут поместиться все двадцать четыре тома «Британской энциклопедии» с картинками, если уменьшить издание в двадцать пять тысяч раз. И это тоже «еще ничего»: каждая из едва заметных точек, составлявших полутона на фотогравюре, содержала примерно тысячу атомов. Чтобы воссоздать и прочесть миниатюрную «Британнику», Фейнман предложил использовать инженерные технологии, существовавшие в то время, — развернуть линзу электронного микроскопа и направить фокусируемый ионный луч на небольшой участок поверхности. Таким образом в небольшой брошюре уместились бы все книги мира.

Но метод непосредственного уменьшения слишком груб, продолжал он. С появлением телефонов и компьютеров возникло новое восприятие информации: одна буква равноценна семи-восьми битам, а бит содержит сотню атомов; все печатные издания, какие только существуют в мире, можно записать на куб размером не больше пылинки. Участники собрания, непривычные к такого рода лекциям, слушали его как завороженные. «Так что

никому не нужны ваши микропленки!» — подытожил он.

Фейнман начал задумываться о механике мира атомов по нескольким причинам. Хотя он никому об этом не рассказывал, его мысли занимал второй закон термодинамики и связь между энтропией и информацией; на атомном уровне он достиг порога, после чего вновь взялся за расчеты и мысленные эксперименты. С новыми открытиями в генетике возникли те же проблемы. Он говорил о ДНК (пятьдесят атомов на единицу информации) и способности живых организмов выстраивать крошечные механизмы, предназначенные не только для хранения информации, но и для манипуляций и производства. Он рассуждал о компьютерах: когда-нибудь они станут в миллионы раз мощнее и не только смогут быстрее считать, но обнаружат другие, качественно новые свойства — например, возможность анализировать и делать выводы. «Все законы физики указывают на то, что элементы компьютера могут стать существенно меньше, чем сейчас». Он упомянул о проблемах смазки и о сфере, где начнут главенствовать квантово-механические законы. Высказал мысль об изобретении в скором времени аппаратов, которые будут изготавливать машины и устройства меньшего размера, а те, в свою очередь, еще более микроскопические. «И не нужно будет тратиться на материалы. Допустим, я захочу построить миллиард крошечных фабрик, похожих друг на друга; они будут работать одновременно, просверливая отверстия, штампуя детали и так далее». В заключение своей речи он учредил два приза по тысяче долларов каждый: один обещал вручить тому, кто изготовит уменьшенную в двадцать пять тысяч раз книгу, которую можно будет прочесть с помощью микроскопа; второй — изобретателю рабочего электромотора размером с куб, каждая из граней которого будет не более 0,03 см.

Лекцию Фейнмана опубликовали в журнале Калтеха «Инженерия и наука» и впоследствии перепечатали во многих других изданиях. (Ежемесячник «Популярная наука» опубликовал ее под заголовком «Как построить автомобиль меньше точки».) А двадцать лет спустя для сферы, которую Фейнман тогда пытался лишь вообразить, появилось название — нанотехнологии. Нанотехнологи — ученые, которых кто-то считал гениями, а кто-то безумцами — изготавливали крошечные силиконовые шестеренки с аккуратными зубчиками и гордо демонстрировали их под микроскопом; они мечтали о времени, когда по артериям будут перемещаться микроскопические самовоспроизводящиеся роботы-«врачи». Фейнмана они считали своим духовным отцом, хотя он так никогда и не вернулся к этой теме. С точки зрения грубой механики мельчайшие механизмы, появление которых

пророчили нанотехнологи, казались фантастическими объектами из далекого будущего — такого же далекого, каким воспринималось их время из 1959 года. В соответствии с механическими законами физики трение, вязкость и электрические силы при уменьшении масштабов давали сбой, будучи не в состоянии действовать столь безукоризненно, как предсказывал Фейнман в лекции о «миллиарде крошечных фабрик». Колесики, шестеренки и рычаги попросту склеивались. Правда, другие микроскопические устройства действительно появились: их использовали для хранения и обработки информации, причем эффективность этих машин превзошла все его прогнозы. Но это были электронные машины, а не механические; они использовали законы квантовой механики, а не противостояли им.

Приз за микроскопическую книгу Фейнман выплатил лишь в 1985 году: аспирант из Стэнфорда Томас Ньюман потратил целый месяц и уменьшил-таки первую страницу «Повести о двух городах», разместив ее на силиконовой основе и применив технику, почти в точности описанную Фейнманом в 1960-е. А вот крошечный моторчик не заставил себя ждать так долго. Фейнман недооценил уровень развития технологий: местный инженер Уильям Маклеллан прочел статью в журнале «Инженерия и наука» в феврале, а в июне, так и не услышав новостей о подобном изобретении, решил сконструировать мотор сам. У него ушло на это два месяца; он работал в свободное время, используя резец часовщика и пресс для микродрели. Обычный пинцет не годился — вместо него Маклеллан взял заостренную зубочистку. С помощью этих инструментов он просверливал невидимые отверстия и оборачивал мотор медной проволокой толщиной 0,001 см. Вскоре моторчик мощностью одна миллионная лошадиной силы был готов.

В ноябре Маклеллан пришел к Фейнману, когда тот работал в одиночестве в лаборатории Калтеха, и принес большой деревянный ящик. Он заметил, что на лице ученого промелькнуло разочарование: слишком много к нему приходило идиотов с моторчиками от игрушечных автомобилей, помещавшихся на ладони. Но оказалось, что в ящике у Маклеллана микроскоп.

— Ого, — ахнул Фейнман. Он так и не учредил официальную премию, поэтому выписал Маклеллану чек от своего имени.

Все его знания

Фейнмана по-прежнему занимали простые вопросы. Бо́льшую часть своей жизни он пытался постичь устройство мира, понять, как атомы и силы, соединяясь, образуют кристаллы льда и радугу. Создавая в своем воображении мир микроскопических машин, он продолжал исследовать процессы, происходящие на уровне долгоживущих молекул, а не эфемерных странных частиц. Он стал частью сообщества физиков-теоретиков, принял их цели и риторику и все же сообщил Американскому физическому обществу, что миниатюризация не имеет ничего общего с фундаментальной физикой («Что такое вообще эти странные частицы?»). Но в сообществе интеллектуальное превосходство негласно признавалось за теми, кто изучал феномены, возникающие в результате столкновения частиц и наблюдаемые лишь кратчайшую долю секунды. Фейнман же давал понятию другое определение. «То, о чем мы говорим, реально, и оно прямо перед нами: это природа», — писал он одному индийскому корреспонденту, который, по его мнению, начитался литературы о «необъяснимых феноменах».

«Учитесь, пытайтесь постичь суть простых вещей и законов, лежащих в основе всего. Почему облака не падают, почему днем не видно звезд, почему масляная пленка разноцветная, как образуются линии на поверхности водяной струи, льющейся из кувшина, почему раскачивается лампа — все эти бесчисленные явления мы наблюдаем в окружающем мире. Когда найдете им объяснение, можете перейти к другим, более тонким вопросам».

Первой ступенью для любого студента Калтеха был двухлетний обязательный курс базовой физики, но к началу 1960-х годов его программа безнадежно устарела. Со всей страны в университет прибывали блестящие молодые первокурсники, которые только что окончили школу и были готовы вгрызаться в тайны теории относительности и странных частиц, а их заставляли изучать, по выражению Фейнмана, «движение пробкового мяча по наклонной плоскости». Главного преподавателя на факультете не было; лекции читали аспиранты, поделив их между собой. В 1961 году администрация Калтеха решила полностью переработать курс; Фейнмана попросили читать его дважды в неделю в течение первого года.

С проблемой устаревших программ столкнулись не только в Калтехе и не только в рамках базового курса физики. Современная наука менялась слишком стремительно, а вот вузовская программа, напротив, костенела. Не осталось никого,

кто мог бы вывести студентов бакалавриата на горячую передовую современной физики и биологии. Но если квантовую механику и молекулярную генетику еще как-то можно было интегрировать в программу высшего образования, то наука «до Эйнштейна» грозила превратиться в предмет исторический. Для многих первокурсников освоение физики начиналось с истории: они изучали физическую науку Древней Греции; египетские пирамиды и шумерские календари; развитие физики в Средние века и в XIX веке. Почти все курсы начинались с механики в том или ином виде. Вот как выглядела типичная программа:

1. Историческое развитие физической науки.
2. Современное состояние физической науки.
3. Кинематика: наука о движении.
4. Законы динамики.
5. Применение законов движения: движущая сила и энергия.
6. Упругость и простое гармоническое движение.
7. Динамика абсолютно твердого тела.
8. Статика абсолютно твердого тела.

И так далее, и тому подобное, пока наконец в самые последние недели курса не начиналось изучение атомов и молекул, которое шло в этом списке под номером 26. После этого оставалось совсем немного времени, чтобы слегка затронуть ядерную физику и астрофизику. В Калтехе по-прежнему был в ходу древний учебник, написанный местным светилом Робертом Милликеном — труд, по уши увязший в физике XVIII–XIX веков.

Фейнман же начал свой курс с атомов. Потому что именно они были основой его понимания мира — не мира квантовой механики, а обычного мира парящих облаков и масляной пленки на воде, переливающейся разными цветами. Осенью 1961 года почти двести первокурсников вошли в аудиторию, и первое, что они услышали, был вопрос, заданный улыбающимся лектором, меряющим шагами кафедру:

— Так как же мы представляем мир? Предположим, что в результате некоего катаклизма будут уничтожены все научные знания и нужно передать следующему поколению лишь одну фразу, в которой содержалось бы максимум информации и минимум слов. Что это была бы за фраза? Мне кажется, в ней должна содержаться *атомная гипотеза* (или, если угодно, не гипотеза, а факт): *всё в мире состоит из атомов, мельчайших частиц, находящихся в постоянном движении и притягивающих друг друга на небольшом расстоянии, но отталкивающихся при столкновении*. В одном этом высказывании заключен огромный объем информации о мире, если немного поразмыслить и

включить воображение.

Он предложил студентам представить каплю воды и совершить путешествие по шкале размеров: увеличить каплю до двенадцати метров в сечении, потом до двадцати четырех километров, а потом еще в двести пятьдесят раз, пока на горизонте не забрезжат движущиеся молекулы, каждая из которых состоит из двух атомов водорода, похожих на пухлые ручки, торчащие из большого «туловища» — атома кислорода. Фейнман охарактеризовал противоборствующие силы, удерживающие и отталкивающие молекулы. Представил жар в виде движущихся атомов; рассказал о давлении, расширении, превращении в пар. Описал лед и его молекулы — твердую кристаллическую решетку; поверхность воды, поглощающую кислород и азот и выделяющую пар. Вслед за этим тут же возникли вопросы о равновесии и дисбалансе. Вместо того чтобы говорить об Аристотеле и Галилее, объяснять устройство рычага и физику метаемого тела, он создал осязаемую картину мира, в котором все субстанции состоят из атомов, рассказал, как возникают эти субстанции и почему они ведут себя так, а не иначе. Растворение и осадки, огонь и запах — Фейнман шагал по кафедре, показывая атомную гипотезу не как конечный пункт, редуктивный тупик, а как начало пути, ведущего к более сложным материям.

— Если вода — а она вся состоит из этих маленьких капель, все километры воды на Земле — может образовывать волны и пениться, шуметь и течь по асфальту, описывая странную траекторию; если все это, все потоки воды состоят из атомов, представляете, *сколько всего еще возможно*? И возможно ли, что этот «объект», который ходит сейчас перед вами и о чем-то рассказывает, тоже представляет собой нагромождение атомов, только организованных более сложным образом? Говоря о себе как о скоплении атомов, мы, конечно же имеем в виду не беспорядочную кучу, а определенное сочетание частиц, имеющее уникальный рисунок, который не повторяется от одного человека к другому, хотя этот другой, вероятно, обладает теми же способностями, как и тот, кого вы видите в зеркале.

Фейнман вдруг обнаружил, что загружен работой; он не работал так много со времен Манхэттенского проекта. Его занимало не только преподавание. Он понял, что хочет структурировать огромный объем физических знаний, и структурировать его по-новому, перевернув с ног на голову, пока не найдет взаимосвязи — «хвосты», которые раньше никто не увязывал между собой. Он даже попытался нарисовать карту, представляя свои исследования в виде диаграммы, и назвал ее

«Путеводитель по непонятному».

Команда профессоров и аспирантов из Калтеха с грехом пополам старалась за ним угнаться: неделями они сочиняли задачи и собирали дополнительные материалы, и его «Путеводитель» постепенно обретал очертания. После лекций они встречались за обедом и пытались собрать воедино то, что Фейнман извлекал из одного-единственного листка с загадочными набросками. Он говорил о физике языком простого мечтателя и уделял основное внимание идеям, а не методологии, однако мысль его развивалась столь стремительно, что коллегам-физикам было сложно поспевать за ее ходом.

Любой базовый курс включал историю предмета, и курс Фейнмана не был исключением. Но вместо того чтобы углубляться в повествование о шумерах и древних греках, Фейнман посвятил вторую лекцию «физике до 1920 года». На эту тему у него ушло меньше получаса, после чего он перешел к краткому обзору квантовой физики, ядер и странных частиц по Гелл-Манну и Нисидзиме. Многие студенты пришли в Калтех именно за этим. Но Фейнман не хотел, чтобы у них создалось впечатление, будто именно здесь, на уровне микроскопических частиц, кроются фундаментальные законы и глубочайшие нераскрытые тайны.

Перейдя искусственную границу между научными дисциплинами, он заговорил о другой проблеме — и это было «не обнаружение новых элементарных частиц, а кое-что, оставшееся нерешенным с давних пор». Речь шла об анализе турбулентных жидкостей. В наблюдениях за эволюцией звезды наступает момент, когда можно определить начало конвекции; после этого поведение звезды становится непредсказуемым. Мы также не можем анализировать погоду. Нам неизвестна закономерность процессов, происходящих внутри Земли. Никто не может объяснить этот хаос с точки зрения первых принципов атомных сил или законов течения жидкости. Течение обычной жидкости разобрано в учебнике, сказал он первокурсникам. Но мы до сих пор не знаем, как описать поток воды, текущей по трубе. Вот главная проблема, которую еще предстоит решить.

Каждая его лекция представляла собой совершенное театральное представление. В отличие от других преподавателей, Фейнман никогда не обрывал тему на середине: «Похоже, нам пора заканчивать. Продолжим эту дискуссию в следующий раз…» Он так четко просчитывал, сколько времени понадобится на заполнение диаграммами и уравнениями двухъярусной раздвижной доски, что, казалось, заранее представлял, как она будет выглядеть в конце занятия. Он выбирал обширнейшие

темы, широко раскинувшие свои щупальца и затрагивающие самые разные сферы научного знания: сохранение энергии, время и расстояние, вероятность. Уже в конце первого месяца он перешел к глубокой и насущной проблеме симметрии в законах физики. Его подход к сохранению энергии позволял взглянуть на многие проблемы совсем под другим углом. Физики-теоретики, занимающиеся исследованиями, постоянно помнили об этом принципе, но в учебниках он упоминался вскользь, в конце главы о механической энергии или термодинамике. При этом сперва указывалось, что механическая энергия не сохраняется, так как трение неизбежно приводит к ее потере. Полноценное описание принципа встречалось лишь тогда, когда речь заходила об эквивалентности материи и энергии у Эйнштейна.

А Фейнман выбрал сохранение энергии отправной точкой разговора о законах сохранения вообще (и в результате в программе его курса понятия «сохранение заряда», «барионы» и «лептоны» вводились за несколько недель до изучения тем, посвященных скорости, расстоянию и ускорению). Он предложил гениальную аналогию. Представьте ребенка, у которого есть двадцать восемь кубиков, сказал он. В конце каждого дня мать их пересчитывает. И выявляет фундаментальный закон — закон сохранения кубиков: их всегда двадцать восемь.

Однажды она обнаруживает, что кубиков двадцать семь, но при внимательном осмотре выясняется, что один завалился под ковер. На другой день она насчитывает лишь двадцать шесть кубиков, но, подойдя к открытому окну, видит, что недостающие два валяются на улице. На третий день оказывается, что кубиков двадцать пять. В комнате стоит коробка; взвесив коробку и кубик, мать приходит к выводу, что три кубика находятся внутри. Так продолжается долгое время. Кубики исчезают в ванной под водой, и матери приходится применять все более сложные вычисления, чтобы определить их количество по уровню поднявшейся воды. «Ее мир постепенно усложняется, — объяснял Фейнман, — ей приходится вводить целый ряд понятий, которые помогают подсчитать, сколько кубиков находится там, где их не видно». Между энергией и кубиками есть одно различие, предупредил он: энергия — это набор абстрактных формул, которые с каждым шагом становятся все запутаннее. Но суть одна: в конечном итоге физик всегда должен вернуться к тому, с чего начал.

Живые аналогии и обширные темы неизбежно влекли за собой расчеты. На той же часовой лекции по сохранению энергии Фейнман заставил студентов высчитывать потенциальную и кинетическую энергию в гравитационном поле. Через неделю, знакомя их с принципом неопределенности в квантовой

механике, он не только сумел передать всю драматичность этого неотъемлемого свойства всех природных явлений, но и рассчитал плотность вероятности атома водорода в состоянии покоя. При этом он по-прежнему не касался таких базовых понятий, как скорость, расстояние и ускорение.

Неудивительно, что коллеги Фейнмана занервничали, столкнувшись с необходимостью писать задачи и упражнения для его курса. Еще до окончания первого полугодия он разъяснил студентам сложнейшую геометрию пространства и времени в теории относительности вкупе с диаграммами движения частиц, геометрическими преобразованиями и четырехвекторной алгеброй. Это был очень сложный материал для первокурсников. А ведь Фейнман пытался не только научить их математике, но и показать, как он применяет свой метод визуализации, объяснить механизмы работы своего мозга на примере составления диаграмм, заставить студентов наглядно представить кажущуюся ширину и глубину объекта. Он увлекал их в свое Зазеркалье.

«Все зависит от того, каким образом мы воспринимаем объекты; когда мы перемещаемся, наш мозг тут же пересчитывает их ширину и глубину. Но если мы движемся с высокой скоростью, то не можем мгновенно вычислить координаты и время: люди никогда не передвигались со скоростью света, а следовательно, они не в состоянии осознать природу времени и пространства».

Порой студенты приходили в ужас. Фейнман, однако, периодически возвращался к стандартным темам из вводного курса физики. Опытные ученые, присутствовавшие на его лекциях, понимали, что, рассказывая о центре тяжести и вращающемся гироскопе, он дает студентам не только математический метод, но и физическое понимание сути этих явлений. Почему волчок, удерживающийся в вертикальном положении на кончике пальца, начинает медленно кружиться под действием гравитации, тянущей его ось вниз? Даже бывалым физикам казалось, что они впервые слышат ответы на свои «почему», когда Фейнман говорил о гироскопе, который всегда немного «падает», прежде чем начать вращаться… (Он не хотел, чтобы у студентов возникло впечатление, что гироскоп — это чудо: «Это чудесная штука, но никак не чудо».)

В науке для него не было запретных сфер. Проконсультировавшись с экспертами из других областей, он прочел две лекции о физиологии глаза и физико-химических свойствах цветного зрения, указав на глубокую взаимосвязь физики и психологии. Описал точку зрения на время и поля, вытекающую из его дипломной работы с Уилером и понятий запаздывающего и опережающего потенциалов. В отдельной

лекции раскрыл принцип наименьшего действия, начав с воспоминаний о своем школьном учителе мистере Бадере — откуда мяч знает, в какую сторону лететь? — и закончив принципом Гамильтона в квантовой механике. Другую лекцию посвятил храповику и собачке — простейшему зубчатому механизму, который препятствует разматыванию часовой пружины; на самом же деле это был урок обратимости и необратимости, беспорядка и энтропии. За один час он увязал макроскопическое действие этого механизма с процессами, происходящими на уровне составляющих его атомов. И показал, что история храповика — это термодинамическая история Вселенной:

«Храповик и собачка вращаются лишь в одном направлении, так как между ними и остальной Вселенной существует глубинная связь… Поскольку от Земли идет холод, а от Солнца — тепло, храповик и собачка, изготовленные человеком, могут крутиться лишь в одну сторону… Нам не понять суть этого явления, пока мы не приблизимся к разгадке тайны зарождения Вселенной не с точки зрения досужих разговоров, а с точки зрения научного знания».

Этот курс стал педагогическим достижением; еще до его окончания он приобрел широкую известность в научном сообществе. Но он не предназначался для первокурсников. Шли месяцы, и результаты экзаменов потрясли и разочаровали Фейнмана. Тем не менее в конце года администрация стала умолять его продолжить курс и преподавать тому же потоку студентов, теперь уже второкурсников. Он согласился и на этот раз попытался прочесть им всеобъемлющий курс квантовой механики, снова опрокинув привычный порядок. Пройдет много лет, и Дэвид Гудстейн, другой физик Калтеха, будет рассказывать: «Недавно я разговаривал с его бывшими студентами… Хотя другие воспоминания о том времени у многих стерлись, все как один признались, что два года на курсе у Фейнмана стали для них уникальным опытом, который бывает раз в жизни». Однако в 1960-е ситуация свидетельствовала об обратном: к окончанию курса посещаемость сильно упала. В то же время на лекции стали приходить преподаватели и аспиранты, поэтому аудитория всегда оставалась полной; Фейнман, вероятно, не догадывался, что теряет слушателей, для которых все это и затевалось…

Таков был мир по Фейнману. Со времен Ньютона ни одному ученому не удавалось представить столь полную, амбициозную и неортодоксальную картину знаний о мире — как собственных, так и наработанных научным сообществом. После тщательной обработки (главными редакторами выступили физики Роберт

Лейтон и Мэтью Сэндс) лекции вышли в виде трехтомника «Фейнмановские лекции по физике» — знаменитых «красных книг». В колледжах и университетах их поначалу пытались использовать как учебники, но вскоре отказались от этой идеи в пользу более структурированной и менее радикальной альтернативы. Вместе с тем, в отличие от «настоящих» учебников, фейнмановские лекции продолжали продаваться и поколение спустя.

На обложке трехтомника смеющийся Фейнман в рубашке играл на барабанах. Впоследствии он жалел, что выбрали именно эту фотографию. «Странно, но в тех редких случаях, когда меня приглашают сыграть на барабанах на каком-нибудь официальном приеме, хозяева никогда не упоминают о том, что я физик-теоретик. Видимо, все дело в том, что искусство вызывает у людей большее уважение, чем наука», — заметил он после того, как на одном из таких приемов его представили как барабанщика. И когда шведское издательство обратилось к нему с просьбой прислать копию этой фотографии для энциклопедии («Хотелось бы показать, что у такой сложной сферы, как теоретическая физика, человеческое лицо…»), он взорвался. «Дорогие издатели, — написал он в ответ, — тот факт, что я играю на барабанах, не имеет никакого отношения к моим исследованиям в области теоретической физики. Открытия этой науки являются одним из высочайших достижений человечества, поэтому я считаю оскорбительным постоянную потребность издателей доказывать, что физик — тоже человек, демонстрируя, что он, как все, занимается обычными делами (например, игрой на барабанах).

Да, я обычный человек, и поэтому говорю вам: идите к черту».

Первооткрыватели и туристы

«Когда вы найдете этому объяснение, можете перейти к другим, более тонким вопросам», — говорил Фейнман.

И снова к физике примешивалась философия. Что значит «объяснение»? Люди науки в совершенстве овладели его практикой, но теорию оставили главным образом философам, не считая постановку вопроса «почему» своей прерогативой. «С этого вопроса началась философия, и им она закончится, — сказал Мартин Хайдеггер, — при условии, что в конце ее ждет величие, а не признание своей беспомощности». Фейнман полагал, что «признание своей беспомощности» гуманитарными дисциплинами вроде философии неизбежно, и поставил перед собой цель разработать теорию, содержащую объяснение, утверждающую объяснение единственным возможным методом и определяющую, какие феномены требуют объяснения, а какие — нет.

Фейнман вкладывал в это понятие примерно тот же смысл, что и представители современных философских течений, хотя не владел их жаргоном и не понимал различий между *explanans* и *explanandum*[159]. Как и большинство философов, он считал объяснения удовлетворительными, если они апеллировали к общему закону, охватывающему все феномены. Объект ведет себя так, потому что другие объекты подобного рода ведут себя так же. Почему Марс движется вокруг солнца по эллиптической орбите? В 1964 году на серии лекций в Корнеллском университете Фейнман, рассматривая этот вопрос, зашел на территорию философии. Он начал лекцию с закона гравитации, а оказалось, что он посвятил ее принципам объяснения.

Все спутники вращаются по эллипсу. Почему? Потому что одиночные объекты движутся по прямой (закон инерции), а сочетание прямолинейного движения и притягивающей объект силы, согласно закону гравитации, создает эллипс. Какие подтверждения есть у этого закона?

Фейнман выражал взгляд современного ученого, характеризующийся сочетанием прагматизма и эстетики. Он отметил, что такой внешне стройный закон не является окончательным: на смену ньютоновской гравитации пришла эйнштейновская, а физики до сих пор не знают, какие модификации для квантовой среды необходимо в него внести. И все законы такие же неточные. Всегда остается что-то нерешенное, нуждающееся в корректировке. Мы не знаем, является ли это природным свойством, ясно лишь одно: все

известные законы объединяет их изменчивость.

Но даже в незаконченном виде закон гравитации объяснял очень многое. Для практикующего ученого это было подтверждением его действенности. Один и тот же небольшой набор математических формул обосновывал и ночные наблюдения за планетами, сделанные в XVI веке Тихо Браге, и измерения Галилея, следившего за мячом, который катится по наклонной плоскости, и взявшего за единицу измерения биение своего пульса. Планеты тоже падают, сказал Ньютон. Луна ощущает на себе ту же силу, что и метательный снаряд на Земле; эту силу ослабляет лишь расстояние. Закон и причина не одно и то же; философы по-прежнему отрицали различия между этими понятиями. Но все же закон — это не просто описание; он предшествует описываемому объекту — не по времени, а по важности. Действием одного и того же закона объясняется симметричность земных приливов, поднимающихся навстречу Луне, и орбиты спутников Юпитера. На его основе можно делать новые предсказания, которые ученые впоследствии подтвердят или опровергнут в ходе экспериментов на мячах, подвешенных на тонких нитях в лаборатории, или наблюдений за величественно вращающимися галактиками, диаметр которых в сотни миллионов раз больше диаметра мяча. «Но во всех случаях будет действовать один и тот же закон, — сказал Фейнман и добавил, подыскивая нужные слова: — Сплетая свое полотно, природа использует лишь самые длинные нити, поэтому в каждом кусочке ткани отражен принцип организации всей картины».

А между тем никто не знает, почему не подверженный действию сил движущийся объект всегда перемещается по прямой, подвел итог Фейнман. В какой-то момент объяснения заканчиваются.

«Наука отвергает философию, — говорил Альфред Норт Уайтхед. — Точнее, науке никогда не было дела до философии: она не стремилась доказать истинность или объяснить смысл философской мысли». Коллеги Фейнмана считали своего грубоватого прямолинейного кумира-прагматика идеальным антифилософом: он действовал, а не рассуждал. Ему не хватало терпения вести вызванные квантово-механическими парадоксами популярные дискуссии на тему «Что такое реальность?». И все же он не мог полностью отказаться от философии; он должен был найти способ объяснить истину, которую стремился найти, так же как и его коллеги. Современная физика исключила саму возможность выстроить систему правил, однозначно связывающих следствие с причиной; систему законов, логично сформулированных и вытекающих один из другого; систему,

объясняющую поведение объектов, которые можно увидеть и почувствовать. Для философии же все это и было незыблемыми законами, описывающими реальность. Физики имели дело с частицами, которые то распадались, то нет; с электронами, которые могли пройти сквозь щель в экране, а могли и не пройти. Простейший принцип, например принцип наименьшего действия, выводился из законов движения и силы, но теперь вряд ли кто-нибудь мог с абсолютной уверенностью утверждать, что они соблюдаются. Основное научное сырье становилось все более абстрактным. Вот что говорил об этом физик Дэвид Парк: «Ни одно из понятий, которыми оперирует сегодня фундаментальная теоретическая физика, неподвластно чувственному постижению. Мало того… в ней есть феномены, не поддающиеся объяснению в терминах, которые характеризуют привычные объекты, пусть даже невидимые, движущиеся в ограниченном лабораторными условиями времени и пространстве». В отсутствие этих традиционных свойств — или хуже, в их частичное отсутствие при сохранении их частичной необходимости — ученым пришлось выстраивать новое понимание сущности *объяснения*. По крайней мере, так утверждал Фейнман: философы, по его мнению, всегда тащились на шаг позади, как туристы, приезжающие на место после того, как первооткрыватели давно уехали.

Ученые страдали особой формой слепоты. В квантово-механическую эпоху они часто повторяли — и Фейнман сам произносил эти слова, — что единственной истинной проверкой теории является возможность представить ее в виде верных расчетов, совпадающих с результатами эксперимента. Американский прагматизм начала XX века породил заявления вроде того, какое сделал Слейтер в МТИ: «Любые вопросы о теории должны касаться лишь ее способности верно предсказывать экспериментальный результат; все остальное — ненужные разговоры». Но Фейнману такой чисто практический подход теперь казался слишком поверхностным. Он понимал, что теорию всегда сопровождает некий ментальный багаж, то, что он и называл философией. Ему было трудно сформулировать свою мысль: он называл это «пониманием закона»; «тем, как воспринимает закон отдельный человек». Что бы ни говорили ученые-прагматики, отвергнуть философию оказалось не так уж просто.

Взять, например, астронома из племени майя. (В Мексике Фейнман заинтересовался изучением древних рукописей — иероглифических манускриптов, которые содержали длинные таблицы, состоявшие из точек и палочек. В них были

зашифрованы сложные знания о движении Солнца, Луны и планет. Коды, математика и астрономия — позднее он прочел в Калтехе лекцию о расшифровке иероглифов майя. Гелл-Манн, в свою очередь, отреагировал серией из шести лекций о языках мира.) У майя была астрономическая теория, позволявшая анализировать наблюдения за планетами и делать предсказания о далеком будущем. Вернее, «теория» с точки зрения утилитарной современной науки; на самом деле это был набор механических правил, выполняя которые ученый получал точные результаты. Но все же майя были далеки от понимания многих вещей. «Они высчитывали какое-то число, потом вычитали из него другие числа и так далее, — рассказывал Фейнман. — Но никто не задумывался о том, что такое Луна и почему она вращается».

И вот, допустим, некий молодой человек приходит к астроному и предлагает новую идею. Что, если там, в космосе, громадные каменные глыбы перемещаются под влиянием той же силы, которая притягивает камни к земле? И что, если исходя из этого можно вывести другой способ рассчитывать движение небесных тел? (Фейнман наверняка хорошо помнил, как в юности сам осаждал старших своими еще не до конца оформившимися интуитивными предположениями.)

«Допустим, — говорит астроном, — и насколько точно вы сможете предсказать затмение?» — «Об этом я пока не думал», — отвечает юноша. «В таком случае, — заявляет астроном, — забудьте о своей идее. Совершенно очевидно, что наша модель предсказывает затмения лучше вашей, так как математические расчеты гораздо эффективнее».

Лишь позднее понимание того, что для одних и тех же наблюдений может найтись несколько правдоподобных альтернативных объяснений, стало краеугольным камнем рабочей философии ученого. Догнав науку, философы назвали это явление *эмпирической эквивалентностью*. Новейшая история квантовой механики опиралась на подобную равнозначность теорий Гейзенберга и Шрёдингера. Эмпирическую эквивалентность концепций, на первый взгляд казавшихся очень разными, можно было доказать математически, как сделал Дайсон для квантовой электродинамики Фейнмана и Швингера. Ученые знали (но, как правило, не задумывались об этом), что такие теории могут прийти к разным результатам, пусть и вопреки математической логике.

Для Фейнмана противоборство альтернативных теорий служило источником вдохновения, побуждающим к совершению новых открытий. Ни один из ныне живущих физиков не располагал столь обширными знаниями относительно того, какие

принципы служат основой для формирования моделей и как одна модель может быть выведена из другой. Когда-то, в 1948 году, стоя у доски в своем кабинете, он поразил Дайсона, прервав их бурную дискуссию о квантовой электродинамике, чтобы продемонстрировать нечто оригинальное. Сделав пару быстрых набросков, он вывел уравнение Максвелла «задом наперед» — из новой квантовой механики. Это была классическая формула, составленная еще в XIX веке, которая описывала электричество и магнетизм. Эйнштейн начал свои исследования с уравнений Максвелла, затем он сместил фокус наблюдателя и таким образом вывел теорию относительности; Фейнман повернул историю вспять и зашел с другого конца. Он начал с вакуума, в котором не было ни полей, ни волн, ни понятия относительности, ни даже самого понятия света — лишь одна частица, подчиняющаяся странным правилам квантовой механики. И на глазах у Дайсона совершил математическое путешествие назад во времени — от новой физики с ее загадками неопределенности и неизмеримости к комфортабельной точности прошлого века. Он показал, что уравнения электромагнитного поля Максвелла были не основой, а *следствием* новой квантовой механики. Ошеломленный Дайсон был впечатлен; он сказал, что Фейнман просто обязан опубликовать свои находки. Но тот лишь рассмеялся и ответил: «Да нет, это не так уж и существенно». Позднее Дайсон понял, что Фейнман хотел создать новую теорию, «выходящую за рамки традиционной физики».

«Он не стремился переработать старую теорию, а хотел создать новую, в основе которой было бы как можно меньше предположений… Его целью было максимально полное исследование вселенной динамики частиц».

По мнению Фейнмана, когда приходит время новых теорий, преимущество имеет тот ученый, который способен соотносить в уме альтернативные идеи: его подход более творческий. Формулировка квантовой механики при помощи интегралов по траектории могла быть эмпирически эквивалентной другим формулировкам, и все же казалась более естественной и применимой к тем областям науки, которые еще не были изучены (учитывая, что физикам было известно далеко не всё на свете). Различные теории подбрасывали исследователям «разные идеи для построения догадок», как выразился Фейнман. История развития физики за последний век показала, что если даже такие изящные и чистые теории, как ньютоновская, подлежат замене, то небольшими модификациями дело не ограничится. Если результат отличался хоть немного, необходима была уже другая теория. Формулируя новое правило, нельзя утверждать, что

совершенный закон может быть несовершенным; нужен другой совершенный закон.

Фейнман оперировал объяснениями с мастерством хирурга, орудующего скальпелем. Он разработал ряд практических тестов и алгоритмов, которые применял, оценивая новую идею: например, можно ли с ее помощью описать феномен, не имеющий отношения к исходной проблеме? Он спрашивал молодых физиков-теоретиков: что еще объясняет эта теория, помимо того, что вы хотели выяснить изначально? Он знал, что вопрос «почему» можно задавать бесконечно, и наше понимание вещей неотделимо от языковых средств, которые мы используем для их характеристики. Слова и аналогии, служащие строительным материалом для наших объяснений, неразрывно связаны с описываемыми понятиями, как связаны *explanans* и *explanandum*.

Репортер BBC Кристофер Сайкс как-то попросил Фейнмана объяснить работу магнитов.

— У меня два магнита, я приближаю их друг к другу и чувствую: между ними что-то происходит… Что это за явление? И как его объяснить?

— Что значит — как объяснить? — рявкнул Фейнман. Его волосы, вьющиеся и уже седые, поредели, открыв высокий лоб, благородный, как у античной статуи. Вскинутые густые брови, как и в молодости, придавали его лицу озорное выражение. Воротник светло-голубой рубашки был расстегнут, а в нагрудном кармане, как всегда, лежала ручка и футляр для очков. Камера не была включена, и репортер дал понять, что немного обижен его реакцией.

— Но там же что-то есть, верно? По крайней мере, у меня возникает такое ощущение, когда я сближаю магниты.

— Сейчас я задам вам вопрос. Слушайте внимательно, — ответил Фейнман. — Что вы имеете в виду, говоря «у меня возникает ощущение»? Разумеется, вы что-то чувствуете. Но что вы хотите узнать?

— Хочу узнать, что происходит между этими двумя металлическими объектами.

— Магниты отталкиваются.

— Но что это *значит? Почему* они это делают? И *как*? — Фейнман поерзал в своем удобном кресле, а репортер добавил: — Мне кажется, это вполне резонный вопрос.

— Резонный, скажу больше — великолепный вопрос. — Фейнман неохотно перешел в сферу философии. В то время среди теоретиков физики частиц бытовала так называемая гипотеза бутстрапа (самоподдержки). Согласно этой гипотезе «элементарные» частицы, из которых состоит все остальное, эти

строительные «кирпичики», существуют не по отдельности, а лишь во взаимосвязи друг с другом, свойства одной частицы обуславливаются свойствами других частиц — такой вот парадокс и замкнутый круг. А Фейнман считал, что в основе самого понятия *объяснение* лежит такая вот бутстрапная модель.

— Когда вас спрашивают о причине какого-либо события, как ответить на этот вопрос? Скажем, тетя Минни попала в больницу. Почему? Вышла на лед, поскользнулась и сломала бедро. Такой ответ всем понятен. Но он не подходит для того, кто прилетел с другой планеты и не знает, как у нас тут все устроено. Объясняя причину, вы должны находиться в рамках некой системы, в которой определенные вещи считаются истинными для всех и не требующими доказательств. В противном случае «почему» не будет конца… Вам станут задавать этот вопрос снова и снова, и вы начнете всё глубже погружаться в объяснение самых разных аспектов реальности.

Почему тетя поскользнулась на льду? Потому что лед скользкий. Это всем известно — никаких проблем. Но почему он такой? И вот тут возникает множество других вопросов, ведь в мире не так уж и много вещей таких же скользких, как лед… Настолько твердых и скользких.

А тут все дело вот в чем. Когда вы стоите на льду, давление вашего тела слегка подтапливает его; возникает водная пленка, на которой вы и поскальзываетесь. Почему она возникает на льду, а не на других поверхностях? Потому что при замерзании вода расширяется. Когда возникает давление, расширение прекращается, и лед тает…

Я сейчас не отвечаю на ваш вопрос, а лишь показываю, как сложно на него ответить. Вы должны осознавать, что вам позволено знать, а куда лучше не заходить.

На этом примере видно, что чем больше мы задаемся вопросом «почему», тем интереснее становятся рассуждения. Мне всегда казалось, что чем глубже проблема, тем она занимательнее…

Теперь вернемся к вашему вопросу — почему отталкиваются два магнита. Существует несколько уровней ответа; все зависит от того, кто вы — студент-физик или обычный человек, не обладающий знаниями в этой научной области.

В случае, если вы ничего не знаете, я могу лишь кратко ответить, что существует магнетизм — сила, заставляющая магниты отталкиваться. Пытаясь их сблизить, вы ощущаете эту силу. Вы скажете — это очень странно, ведь в других ситуациях я не чувствую ничего подобного… Вас, например, ни капли не тревожит тот факт, что, когда вы кладете руку на спинку стула,

она тоже вас отталкивает. Если рассмотреть этот феномен подробнее, мы придем к выводу, что тут действует та же сила… И если я начну объяснять происходящее с точки зрения магнетизма и электрической силы, мне придется начать рассказывать о многих других вещах, потому что я копну глубже…

Если бы я сказал, что магниты притягиваются, как будто их соединили эластичными резинками, я бы вас обманул, потому что на самом деле никаких резинок нет. А если бы вам стало интересно, почему резинки не остаются растянутыми, а принимают изначальную форму, мне пришлось бы объяснить этот феномен с точки зрения электрических сил; а ведь до этого я, прибегнув к аналогии с резинками, объяснил сами электрические силы. Получается, я вас обманул.

Поэтому я не в состоянии ответить на ваш вопрос, почему магниты притягиваются и отталкиваются. Могу лишь сказать, что это действительно происходит. Мне представляется невозможным доступно объяснить электромагнетизм в привычных для вас понятиях, потому что *я не понимаю его так*.

Он с улыбкой откинулся в кресле.

Профессионалам рассуждения Фейнмана казались не философией, а очаровательной в своей наивности бытовой мудростью. Он одновременно не поспевал за временем и опережал его. Академическая теория познания все еще боролась с непостижимостью. Но какой выбор у нее оставался ввиду открытия теории относительности и принципа неопределенности, отказа от строгой причинной обусловленности и вечной оговорки, что существуют другие вероятности? Только один: отречься от ясности и абсолюта. Гарвардский философ Уиллард ван Орман Куйан размышлял: «Мне кажется, лучшее, что мы можем сделать в научных и философских целях — вовсе отказаться от понятия “знание”…» В незнании была своя ирония и своя прелесть. Для философов настала «постсхоластическая эпоха» (по выражению физика Джона Зимана), «когда казалось необходимым опровергнуть/доказать специфическую (не)реальность научного знания (теорий, фактов, данных, гипотез), проанализировав (деконструировав) аргументы, на которых оно было (якобы) основано». Но сами ученые считали эти рассуждения бесполезными. Результаты исследований указывали на то, что их понимание природы обогатилось и стало эффективнее, невзирая на наличие квантовых парадоксов. Все-таки им удалось спасти знание от неопределенности. «Ученому хорошо известно, что такое заблуждения, сомнения и отсутствие ясности, — говорил Фейнман. — Мы воспринимаем их как нечто само собой разумеющееся и не видим противоречия в том, что

ученые временами испытывают неуверенность — можно жить и *не знать*. Однако, мне кажется, не все это понимают».

Фейнман подарил своим коллегам научное кредо, которое со временем лишь укреплялось; он не уставал говорить о нем в формальной и неформальной обстановке, на лекциях и в книгах (например, в «Характере физических законов» 1965 года). Оно стало его позицией, его мировоззрением, его естественной философией.

Он верил в первичность сомнения; для него оно было не постыдным изъяном нашей способности познавать, а самой *сутью познания*. Альтернативой неуверенности было авторитетное знание, с которым наука боролась веками. «Великая ценность философии невежества заключается в том, что она учит нас не бояться сомнений, а радоваться им», — записал он как-то на листке бумаги для заметок.

Он считал, что наука и религия по природе своей являются непримиримыми противниками. Эйнштейн утверждал: «Наука без религии хрома; религия без науки слепа», — для Фейнмана такой посыл был неприемлем. Он отвергал Бога в традиционном понимании — этакого «персонального Бога, примету всех западных религий, которому ты молишься и который имеет какое-то отношение к сотворению Вселенной и к выбору тобой нравственного пути». К тому времени некоторые теологи отошли от концепции Бога как некоего «сверхчеловека» — Отца и Царя, своенравного беловолосого старца, непременно мужского пола. Любой Бог, чрезмерно интересующийся делами человеческими, казался Фейнману слишком антропоморфным; в научной вселенной, центром которой человек вовсе не являлся, вообразить такого Бога было невозможно. Многие ученые с ним соглашались, однако подобные настроения в то время были непопулярны. Настолько, что в 1959 году местный телеканал KNXT отказался выпустить интервью, в котором Фейнман заявил:

— Я очень сомневаюсь, что наша фантастически прекрасная Вселенная, все это колоссальное количество времени и пространства, разные виды животных, множество планет, атомы и их движение, и так далее, и тому подобное — что весь этот сложнейший организм всего лишь сцена, на которой люди разыгрывают свой спектакль о борьбе добра и зла, чтобы Бог мог за ними наблюдать (а именно так рассматривает мир религия). Великовата сцена для такой ничтожной драмы».

В основе религии лежали суеверные представления о реинкарнации, чудесах, непорочном зачатии. Незнание и сомнение заменялись непоколебимостью и верой; Фейнман же был за то, чтобы не знать и сомневаться.

Никто из ученых не любил Бога, о котором рассказывали детям в воскресной школе — Бога, «заполняющего промежутки», ставшего последним прибежищем для тех, кто не мог объяснить необъяснимое. Те же, кто воспринимал веру как дополнение к науке, предпочитали богов более абстрактных и более величественных, составлявших «основу всего сущего». Квантовый физик Джон Полкинхорн, ставший англиканским священником, говорил: «Те, кто стремится к полному, всеобъемлющему пониманию — а это естественное стремление ученого, — на самом деле ищут Бога, хоть и не называют его так». Этот Бог не заполнял пробелы, конкретные лакуны в эволюционной теории или астрофизике — такие, например, как вопрос, с чего началась Вселенная. Он витал над целыми сферами знания: этикой, эстетикой, метафизикой. Фейнман соглашался, что право на истинное знание не является прерогативой одной лишь науки. Признавал, что есть вопросы, на которые наука не может ответить, но признавал неохотно, видя опасность в том, чтобы наделять неподкрепленный миф моральной подоплекой, как это делала религия. Кроме того, ему была ненавистна распространенная идея о том, что наука в ее безжалостном стремлении докопаться до сути не способна ценить прекрасное. «Поэты утверждают, что наука отнимает у звезд красоту, представляя их обычным скоплением атомов газа, — писал он в своей знаменитой заметке. — Но я тоже любуюсь на звезды безмолвной ночью и чувствую их великолепие. Возможно ли, что я смотрю на них как-то иначе? Масштабы небес будоражат воображение: мой маленький глаз видит в этом головокружительном пространстве светящиеся точки, которым миллионы лет. Это огромный порядок, и я его часть. Но на чем основывается этот порядок, в чем его смысл, почему все устроено именно так? Едва ли я нанесу вред таинственности мироустройства, если узнаю об этом немного больше. Ведь истина о мире во много раз чудеснее того, как ее представляли все поэты прошлого. Почему же ее не воспевают поэты настоящего? Если поэты могут говорить о Юпитере как о человеке, то почему они не способны живописать его как громадный вращающийся шар, состоящий из метана и аммиака и вечно хранящий молчание?»

Фейнман был абсолютно уверен, что нравственность никак не связана с теориями об устройстве Вселенной. Система моральных установок, в основе которой лежит вера в мстительного Бога, неотступно следящего за людьми, по умолчанию непрочна и способна развалиться в любой момент, когда сомнения начнут подрывать веру.

Он также полагал, что свобода от определенности дает людям право судить о том, что истинно, а что нет: понимая, что их правота относительна, они все равно должны действовать. Лишь приняв неопределенность как точку отсчета, люди могут начать ориентироваться в груде обрушивающихся на них ложных знаний и разобраться, действительно ли кто-то умеет читать мысли и гнуть ложки мысленным усилием, а кто-то видел летающую тарелку с инопланетянами. Наука никогда не сможет опровергнуть эти утверждения, как не сможет доказать, что Бога не существует. Она может лишь разработать эксперимент, предложить альтернативное объяснение и продолжить исследования, пока не придет к рациональному результату. «Я со многими говорил о летающих тарелках, — как-то сказал Фейнман. — И вот что вызвало у меня самое большое любопытство: люди спорят, возможно ли это. Но никто не понимает, что проблема не в том, чтобы выяснить, возможно это или нет; проблема в том, происходит ли это прямо сейчас».

Как узнать, действительно ли человек пережил чудесное исцеление или вращал рулетку усилием мысли? Оценить, правдивы ли астрологические прогнозы? С помощью научного метода. Найдите людей, которые ни разу не молились и все же вылечились от лейкемии. Поместите стеклянную пластину между телекинетиком и игровым столом. «Если это не чудо, — говорил Фейнман, — научный метод развеет сомнения». При этом важно учитывать совпадения и вероятности. Примечательно, что в сообщениях о летающих тарелках сами летательные аппараты описывались гораздо чаще и детальнее, чем живые существа: «очевидцы» рассказывали об «оранжевых светящихся шарах и голубых сферах, отскакивающих от пола»; о «рассеивающемся сером тумане, испаряющихся струях газа, тонких и круглых аппаратах, из которых выходили пришельцы странной формы, иногда по очертаниям напоминающие людей». Фейнман заметил, что крайне маловероятно, что инопланетяне будут похожи на людей, и странно, что слухи о них начали распространяться в тот самый момент, когда стало известно о возможности полетов в космос.

Он подвергал такому же безжалостному анализу другие дисциплины, научные и околонаучные; психологические тесты; статистику общественного мнения. Он разработал убедительные методы распознавания неточности экспериментов и показывал, что случается, если хоть ненамного ослабить скептицизм и забыть о важном факторе совпадения. В частности, описал распространенный случай: после многочисленных экспериментов ученый замечает результат — например, видит, что крысы в

лабиринте всегда бегут сначала направо, потом налево, потом опять направо и снова налево. Экспериментатор высчитывает вероятность получения такого необычного результата и решает, что это не может быть совпадением. «Со мной тоже произошел необыкновенный случай… По дороге сюда я увидел машину с номером ANZ 912. Рассчитайте вероятность, что из всех машин с разными номерами мне должна была встретиться именно эта, — предлагал он. И рассказывал историю, случившуюся с ним, когда он учился в МТИ: — Я сидел в своей комнате наверху и печатал работу на какую-то философскую тему. Я был полностью поглощен своим занятием и ни о чем больше не думал, как вдруг в моей голове совершенно непонятно откуда возникла мысль: “Моя бабушка умерла”. Разумеется, я немного преувеличиваю, как и все, кто рассказывает такие истории. Тем не менее у меня мелькнула эта мысль. И в тот же момент внизу зазвонил телефон. Я помню случившееся очень ясно. Звонили не мне. С моей бабушкой все оказалось в порядке, а почему я тогда так подумал — непонятно. Так вот, нам всем стоит запоминать такие случаи; если вдруг взбредет в голову, что мысль реальна и тому есть подтверждение, будет что этой идее противопоставить».

Когда-то Фейнман поразил приемную комиссию Принстона своими низкими оценками по всем предметам, кроме физики и математики. Он действительно верил в превосходство науки над другими областями знания и не мог смириться с тем, что поэзия, искусство и религия предлагают свой вариант подлинной картины мира. Сама мысль о том, что существует несколько разных версий истины, каждая из которых имеет право на существование, казалась ему ханжеством современных людей и непониманием сути понятия «неопределенность».

Конкретная сфера знаний — к примеру, квантовая механика — может быть относительной и несовершенной. Но это не значит, что противоборствующие теории нельзя оценивать и сравнивать между собой. Фейнман не причислял себя к тем, кого в философии принято называть реалистами. По его собственному определению, реалистами были люди, которые, утверждая, что электроны существуют, «стучат кулаком по столу, топают ногой и кричат: “И это правда!”» Каким бы подлинным ни казалось существование электронов, Фейнман и некоторые другие физики отдавали себе отчет, что те являются частью несовершенной, вечно меняющейся схемы. Правда ли, что электроны путешествуют назад во времени? Являются ли резонансы длительностью всего в наносекунду настоящими частицами? Есть ли у частиц спин, странность и «очарованность»? Многие ученые верили в реальность, поддающуюся прямому постижению.

Другие, и Фейнман в том числе, считали, что в конце XX века нет необходимости искать конечный ответ, как и нет возможности его найти. Что гораздо разумнее держать в уме все вероятные модели, взвешивать альтернативные теории и всегда оставлять место для сомнений. Физики понимали: существующая картина мира далеко не окончательна, однако в ней скрывается глубинная истина, к которой люди будут вечно стремиться, постоянно ошибаясь на своем пути. В отличие от многих философов, Фейнман не считал, что знаменитые «концептуальные революции» и «смены парадигм», ставшие приметой современной науки (и в первую очередь теория относительности Эйнштейна, которая пришла на место динамики Ньютона), были всего лишь модой, меняющейся от сезона к сезону подобно длине юбок. Как и большинство физиков, он не терпел допущения о том, что наука может быть ненаучной; того, что философ Артур Файн назвал «великим уроком аналитической и континентальной философии XX века, а именно: общих методологических и философских ресурсов для описания подобных вещей не существует». Нет, наука обладала методологией. Несмотря на свою относительность, научные теории не были взяты с потолка и не являлись простыми социальными конструктами. Ученые применяли характерную уловку — отказывались признавать, что существует несколько равноценных истин. Благодаря этой уловке в науке не существовало заведомо уважительного отношения к *любой* теории. Научный подход к знанию тем и отличался от остальных (от религии, искусства, литературной критики), что его целью никогда не была мешанина из одинаково привлекательных реальностей. Целью науки, хотя она всегда и казалась недостижимой, был консенсус.

Шведская премия

В 1921 году, когда Эйнштейну вручили Нобелевскую премию, вокруг нее еще не было ажиотажа. Детали вручения премии были освещены лишь в нескольких словах на внутренних страницах New York Times, притом что Эйнштейну достаточно было всего лишь выступить с публичной лекцией, чтобы немедленно попасть в передовицу. К тому же знаменитого ученого упоминали вместе с лауреатом 1922 года, малоизвестным тогда профессором, чье имя написали с ошибкой:

«Нобелевский комитет присудил премию по физике 1921 года профессору Альберту Эйнштейну из Германии, известному своим открытием теории относительности, а премию 1922 года — профессору *Нельсу* Бору из Копенгагена».

Но со временем престиж премии вырос. Немалую роль в этом сыграл эффект первопроходца: были и другие награды в области физики, но дальновидный Альфред Нобель, изобретатель динамита, учредил свою раньше всех. Поскольку объяснить суть научных достижений обычной публике становилось все сложнее, получение почетной международной премии было важной вехой на пути ученого. Некролог любого известного физика в конце XX века непременно должен был содержать слова: «Удостоился Нобелевской премии за…», или «Работал над созданием атомной бомбы», или обе эти фразы.

Нобелевский комитет оценивал претендентов тщательно; порой допускались ошибки, даже серьезные, но в целом его решения отражали единое консервативное мнение ведущих ученых из многих стран. Среди представителей научных кругов становилось все больше тех, кто мечтал стать нобелевским лауреатом, хотя и тщательно это скрывал. Интерес сквозил как в обсуждениях награды, так и в настойчивых отказах в них участвовать. Кандидаты упоминали о ней с чрезвычайной неохотой. Уважаемые ученые, остановившиеся в одном шаге от присуждения премии, всю оставшуюся жизнь с прискорбным видом рассказывали о некоем особом стечении обстоятельств, которое помешало им ее получить. Называлась, к примеру, нерешительность, из-за которой публикация научной работы была отложена на несколько месяцев, что оказалось роковым фактором, или робость, помешавшая присоединиться к команде ученых, затеявших многообещающий эксперимент.

Для лауреатов премия имела огромное значение. Это проявлялось в мелочах: например, Гелл-Манн по-свойски называл ее «шведской премией». Лауреаты причислялись к элите, и это

еще мягко сказано. Оценивая статус награды, одна социолог столкнулась с необходимостью на каждом шагу пользоваться превосходными степенями: «Нобелевская премия как символ достижения вершины вершин науки не просто возводит лауреатов в ранг научной элиты; они становятся лучшими из лучших, небольшой группой, расположившейся на самом верху иерархической лестницы элит. Эта группа обладает особенно сильным влиянием, авторитетом и властью и пользуется привилегиями своего высочайшего статуса в коллективе, который и так считается достаточно престижным». Физики всегда были в курсе, кто из коллег удостоился этой чести.

Однако после Эйнштейна мало кто из ученых мог похвастаться тем, что был известнее самой премии и добавил ей престижности, а не только повысил свой престиж за ее счет. В 1965 году на Нобелевскую премию претендовали несколько активно работающих физиков; все они имели высокий статус в сообществе и были известны конкретными достижениями. Возглавляли список Фейнман, Швингер, Гелл-Манн и Бете. Как всегда, Нобелевский комитет посчитал, что будет проще определить достойных кандидатов, чем выделить их наиболее выдающиеся успехи. Например, Эйнштейну вручили премию за «открытие закона фотоэлектрического эффекта», а не за теорию относительности. Когда Бете наконец стал нобелевским лауреатом в 1967 году, он был удостоен этого звания за анализ термоядерной реакции в звездах — важная работа, но, если учесть, что карьера Бете насчитывала несколько десятков лет и что за это время он сделал немало влиятельных открытий в самых разных сферах физической науки, выбор был явно случайным. А Фейнман мог бы получить премию за изучение жидкого гелия, будь это его единственное достижение. Они с Гелл-Манном имели шанс удостоиться награды за теорию слабых взаимодействий, но Гелл-Манн к тому времени занялся изысканиями в обширной области физики высокоэнергетических частиц. Членам комитета было проще высоко оценить конкретные эксперименты и открытия, нежели обширные теоретические концепции, такие как относительность, поэтому физики-экспериментаторы обычно получали премию раньше теоретиков. Но даже с учетом этого казалось странным, что Нобелевский комитет только сейчас, по прошествии почти двадцати лет, решил отметить важнейшие вехи в теоретической физике, какими стали квантовая электродинамика и перенормировка. Ведь экспериментаторы Уиллис Лэмб и Поликарп Куш получили Нобелевскую премию за исследования в этой области еще в 1955 году, хотя полученные ими результаты лишь дополняли

теорию.

Нобелевская премия за одно и то же открытие не может быть вручена более чем троим ученым. В случае с квантовой электродинамикой выполнить это правило оказалось не так просто. Очевидными кандидатами в первую очередь являлись Фейнман и Швингер. Томонага вывел теорию одновременно со Швингером и даже раньше него, хотя его версия оказалась не такой всеобъемлющей. Оставался Дайсон. Его вклад был главным образом связан с математикой, а Нобелевский комитет питал неприязнь к этой науке. Некоторые физики категорично утверждали, что Дайсон лишь проанализировал и опубликовал чужие работы. Дайсон же, оставшийся работать в Институте перспективных исследований, к тому времени отошел от теоретической физики. Его не привлекал противоречивый мир частиц. Он занялся предметом, к которому питал страсть всю жизнь, — космическими путешествиями — и участвовал в нескольких инновационных проектах. Другими его интересами были международная ядерная политика и происхождение жизни. Так что в рекомендациях на представление к Нобелевской премии, составленных влиятельными американскими физиками, в том числе давним антагонистом Дайсона Оппенгеймером, он не значился. Однако, по мнению просвещенного меньшинства, никто другой в бурный период зарождения современной квантовой электродинамики не смог охватить проблему так широко и не оказал столь глубокого влияния на сообщество, как Дайсон.

Итак, в девять утра 21 октября 1965 года прибыл факс от *Western Union*, в котором значились имена Фейнмана, Швингера и Томонаги: им присудили Нобелевскую премию за «фундаментальные работы по квантовой электродинамике, имевшие глубокие последствия для физики элементарных частиц». К тому времени Фейнман не спал уже более пяти часов. Первый звонок раздался в четыре утра: сразу после объявления лауреатов в Стокгольме позвонил корреспондент ABC. Поговорив с ним, Фейнман разбудил Гвинет. Та сначала подумала, что он шутит. С тех пор телефон звонил не переставая, пока они его не отключили. Уснуть больше не удалось. Фейнман понял, что его жизнь уже не будет прежней. Еще до рассвета прибыли фотографы из Associated Press и местной газеты. Он позировал рядом с домом в темноте с сонным Карлом на руках, которому тогда было три года, и наигранно прижимал к уху телефонную трубку под вспышками фотоаппаратов.

Поскольку теперь журналисты столкнулись с необходимостью объяснять своим читателям, что такое квантовая электродинамика, Фейнман был вынужден выслушивать

вереницы вопросов примерно одинакового содержания: «Можете вкратце рассказать, за что вам дали премию? Хотя нет, не рассказывайте! Мы все равно ничего не поймем». Журналисты спрашивали о вещах, которые невозможно было объяснить в двух словах: «А применима ли ваша теория в компьютерной промышленности?», «Прокомментируйте утверждение: суть вашей работы заключалась в том, чтобы перевести данные экспериментов со странными частицами в область твердых математических фактов». Лишь на один вопрос у него нашелся ответ: «В каком часу вы узнали о награждении?» Улучив минутку один на один, репортер Time подсказал Ричарду, как отвечать на каверзные вопросы; тому идея понравилась. Теперь он просто говорил: «Дружище, если бы я мог *вкратце* рассказать, за что меня наградили, я не получил бы Нобелевскую премию». Конечно, можно было бы одной расхожей фразой описать взаимодействие материи и радиации, но ему казалось, что это нечестно, что это было бы обманом. Впрочем, он все же сделал одно серьезное замечание, отражавшее его отношение к перенормировке: «Проблема заключалась в том, чтобы устранить бесконечности, которые возникали в расчетах; перенормировка помогла “задвинуть их под ковер”».

Позвонил Джулиан Швингер; они порадовались друг за друга. Швингер по-прежнему работал в Гарварде, избрав для своих исследований еще более одинокую стезю. В отличие от Фейнмана, он мог гордиться целой вереницей своих выпускников, пробившихся в элиту физического сообщества и теперь работавших на передовой физики высоких энергий. За десять лет до этого, получив Премию Эйнштейна, Фейнман написал матери: «Я хотел порадовать тебя, что наконец-то опередил Швингера, но оказалось, он получил эту премию еще три года назад. Ему, правда, досталась всего половина медали, поэтому радоваться все же есть чему. Ты ведь постоянно сравниваешь меня с ним». Теперь их соперничеству пришел конец, но они о нем не забыли. Томонаге в Японию Фейнман позвонил сам. Позже в беседе с одним студентом-журналистом он карикатурно описал их разговор в день награждения.

Фейнман: Поздравляю.

Томонага: Я вас тоже.

Фейнман: И как вы себя чувствуете, получив Нобелевскую премию?

Томонага: Полагаю, так же, как и вы.

Фейнман: А вы могли бы вкратце объяснить, за что вам дали премию?

Томонага: Я очень хочу спать.

К обеду студенты Фейнмана натянули под куполом Трупхолла громадный полотняный баннер: «С большой победой, Р. Ф.».

В последующие недели он получил сотни писем и телеграмм. Его поздравляли друзья детства, о которых он ничего не слышал почти сорок лет. Поступали судовые телеграммы, звонки из Мексики с кучей помех. Он сказал репортерам, что планирует потратить треть призовых денег (размер премии составил 55 000 долларов) на выплату налогов; на самом же деле позднее он купит на них пляжный домик в Мексике.

Новый статус стал для Фейнмана источником сильного стресса. Он всегда с подозрением относился к почестям и высмеивал помпезность; вспоминал отца, продавца спецодежды, который научил его видеть за униформой человека. А теперь ему предстояла поездка в Швецию и представление королю. Сама мысль о покупке смокинга вызывала беспокойство. Несколько недель его преследовала странная фантазия: он почему-то решил, что поворачиваться спиной к королю запрещено и поэтому после получения премии ему придется идти по лестнице, пятясь назад. Он упражнялся, прыгая обеими ногами по ступенькам, с верхней на нижнюю, — решил, что придумает такой способ спускаться задом наперед, до какого еще никто не додумался. Он планировал заранее осмотреть лестницу и потренироваться. Ради шутки друг прислал ему зеркало заднего вида; Фейнман счел это подтверждением реальности существования такого правила. Но затем позвонил шведский посол; Фейнман воспользовался возможностью и высказал свою обеспокоенность. Посол заверил, что спускаться по лестнице можно будет, повернувшись в любую сторону, и что никто никогда еще не делал этого задом наперед.

В назначенный день Фейнман надел смокинг и белую бабочку, пригладил волосы и с сияющей улыбкой принял награду из рук Густава Адольфа VI, седовласого монарха в очках. Затем последовала неделя банкетов, танцев, официальных тостов и импровизированных речей в богато украшенных общественных зданиях Швеции. Лауреаты ездили из Стокгольма в Уппсалу и обратно, пировали со студентами в пивных погребах, беседовали с послами и принцессами. Они забрали свои медали, сертификаты и банковские чеки; выступили с речами, приуроченными к получению премии. Лекции ученых были самыми непонятными из всех. Фейнман понял, что никогда не читал ничьих нобелевских лекций. Друзья рассказывали о знаменитой речи Фолкнера 1950 года («Я верю, что человек не

только выстоит — он победит»), но Фейнман сомневался, что сможет произнести нечто столь же грандиозное. Ему, однако, хотелось сказать важные слова, которые останутся в памяти и не будут посвящены краткому разъяснению основ квантовой электродинамики: эту тему для своих лекций могли избрать и его коллеги.

Он считал, что по вине историков, журналистов и самих ученых науку воспринимают неправильно; что в этом восприятии отсутствует картина рабочей реальности — науки как процесса, а не совокупности готовых результатов. Настоящая наука — это всегда сомнение и растерянность, амбиции и устремления, движение сквозь туман. В общественном сознании любая теория представала уже законченной; последовательность же рассуждений и исследований, которая привела к открытию, оставалась за кадром. Фейнман знал, что между развитием идеи в научном сообществе и тем, как она будет выглядеть в окончательном печатном варианте, есть существенная разница. Поэтому он решил изложить личную, анекдотическую и, как он сам утверждал, неприукрашенную версию своего пути к формулировке пространственно-временного толкования квантовой электродинамики. «У нас есть привычка писать для научных журналов статьи, в которых работа выглядит законченной, — начал он. — В своих публикациях мы маскируем следы, чтобы никто не узнал о том, что и мы когда-то заходили в тупик и поначалу могли иметь неверное представление о предмете исследований».

В своей речи Фейнман описал, как физики годами бились с проблемой бесконечностей, возникавшей при расчетах самовоздействия электрона. Признался, что еще студентом втайне мечтал полностью избавиться от понятия поля и вывести теорию прямого взаимодействия между зарядами. Вспомнил свою работу с Уилером: «Насколько я был глуп, настолько профессор Уилер был умен». Попытался объяснить слушателям суть философской позиции ученых постэйнштейновской эпохи, которые, сталкиваясь с парадоксами, уже не задают себе вопрос: «Разве это возможно?» Он рассказал, как формировалась его физическая теория, и вновь высказал свое мнение о перенормировке: «Мне кажется, теория перенормировки — это просто удобный способ замести под ковер все сложности с расхождениями в электродинамике. Но я, разумеется, в этом не уверен».

Он отметил удивительную иронию всего происходившего. Многие идеи, которые возникали на пути к теории, принесшей ему в итоге Нобелевскую премию, оказались ошибочными;

например, его первая идея о том, что заряд не обладает самовоздействием, или вся электродинамика Уилера — Фейнмана с ее запаздывающими и опережающими потенциалами. Даже интегралы по траекториям и концепция электронов, путешествующих назад во времени, оказались лишь полезными догадками, а не важными элементами теории.

«Мой метод — физическое осмысление теории — оказался крайне неэффективным. Вспоминая проделанную работу, я испытываю сожаление о том времени, которое было потрачено на физическое осмысление и последующую формулировку языком математики…»

Вместе с тем он считал, что все это — и неэффективность исследований, и выведенные наугад уравнения, и жонглирование альтернативными теориями — является ключом к обнаружению новых законов. И завершил лекцию советом для студентов:

«Велик шанс, что вы найдете истину, занимаясь популярным направлением исследований. Но у кого-то из вас есть возможность совершить открытие, посвятив себя непопулярной теории поля. Кто же способен на это? Лишь тот, кто пожертвует собой, исследуя квантовую электродинамику весьма странным и редким способом — способом, который изобрел он сам».

Из Стокгольма Фейнман отправился в Женеву, где выступил перед восхищенной и благоговеющей аудиторией Cern — крупнейшего нового центра ядерных исследований в Европе. Стоя перед собравшимися в новом смокинге, он сказал, что после получения премии нобелевские лауреаты часто рассуждают о том, удастся ли им когда-нибудь вернуться к нормальной жизни. Лауреат Нобелевской премии по медицине Жак Моно, разделивший награду с двумя другими биохимиками, заявил, что организм меняется под влиянием полученного опыта; это биологический факт. «И, кажется, я уже столкнулся с этой проблемой, — с хитрой усмешкой сообщил Фейнман. — Раньше я всегда снимал пиджак, когда читал лекцию, а теперь мне не хочется этого делать. Я изменился!» После этих слов слушатели взорвались смехом и засвистели. А Фейнман снял пиджак.

Он снова обратился к молодым ученым от лица себя, «старика», и призвал их идти своей дорогой. Штат сотрудников Cern стремительно рос — в то время это было характерно для всех лабораторий физики высоких энергий. Для каждого эксперимента требовалась большая команда. Перечень авторов статей в Physical Review занимал абсурдно много места на странице.

«Если вы начнете оригинально мыслить, никакого вреда не будет, — заявил Фейнман. И тут же высчитал степени

вероятности: — Шанс, что ваша теория окажется верной, а общее направление исследования, которым заняты все, — ошибочным, очень мал. Но шансы, что именно вы, юный Шмидт, станете человеком, который открыл что-то новое, ничуть не меньше… Очень важно, чтобы мы не следовали одному пути. Пусть существует девяностопроцентная уверенность в правильности той, другой теории, которую разрабатывает Гелл-Манн; но вдруг это не так?»

«Если физики-теоретики будут получать все больше денег, — добавил он, — вряд ли это принесет ощутимую пользу: что хорошего в скоплении людей, тянущихся в хвосте одной и той же кометы? Нам нужно больше разнообразия… а единственный способ этого добиться — воззвать к вам, друзья мои, чтобы вы, рискуя остаться в безвестности, чаще устремлялись в дикие непознанные дебри и пытались найти ответы».

Большинство ученых знали об одной не внушающей оптимизма закономерности: получение Нобелевской премии, как правило, означало завершение продуктивной карьеры ученого. Впрочем, для многих лауреатов конец наступил намного раньше. Одни почувствовали, что обретение славы и почета отняло у них способность фанатично посвящать все свои силы и время исследованиям (а без фанатизма ученому не обойтись). Другие взбунтовались против тех последствий, которые возникли в результате получения премии. Так, Фрэнсис Крик составил язвительный шаблон ответа всем осаждавшим его просителям:

«Доктор Крик благодарит Вас за письмо, но, к сожалению, не может выполнить Вашу просьбу…

Дать автограф	Помочь с проектом
Прислать фотографию	Прочесть рукопись
Излечить вас от болезни	Прочитать лекцию
Дать интервью	Посетить конференцию
Выступить на радио	Появиться в телепередаче
Возглавить комитет	Отредактировать статью
Побеседовать после ужина	Написать книгу
Составить характеристику	Принять почетную степень».

Почтовый ящик Фейнмана ломился от посланий такого рода (хотя писавшие ему чаще просили выслушать их теорию вселенского устройства, чем вернуть им здоровье). Зрелых ученых действительно нередко приглашали возглавить лаборатории, факультеты, фонды, институты. Виктор Вайскопф — один из *почти*-лауреатов — стал директором Cern и не сомневался, что

Фейнману рано или поздно придется занять какую-нибудь административную должность. Они даже поспорили по этому поводу и в присутствии свидетелей составили расписку: «Мистер Фейнман обязуется выплатить мистеру Вайскопфу сумму в размере десяти долларов в любое время в течение последующих десяти лет (то есть до тридцать первого декабря 1975 года) в случае, если вышеупомянутый мистер Фейнман к тому сроку займет “ответственную должность”». У них не возникло разногласий по поводу того, какой смысл они вкладывают в это понятие:

«В рамках данной расписки “ответственная должность” определяется как пост, подразумевающий раздачу приказов другим людям, которые обязаны по велению занимающего означенную должность выполнять различные действия, хотя упомянутое лицо не имеет ни малейшего представления о том, что в конечном итоге эти люди должны сделать».

В 1976 году Вайскопф выплатил Фейнману его десять долларов.

С самого начала Фейнман старался не обременять себя обязательствами, воспринимая каждое новое приглашение, почетную степень, членство в профессиональной организации и стук в дверь как отросток ядовитого плюща, душащий его творческое «я». К моменту получения Нобелевской премии он уже пять лет пытался уйти из Национальной академии наук. Эта, казалось бы, простая задача обернулась целой историей. Все началось с того, что Фейнман написал в академию письмо с просьбой об отставке, приложив к нему оплаченный счет: несмотря на свое решение, он внес положенные сорок долларов за членство. Почти год спустя он получил ответ от президента академии, биолога Детлева Бронка (чью работу о единичном нервном импульсе читал, еще будучи студентом Принстона), и почувствовал себя обязанным вежливо объясниться:

«Мое желание уйти продиктовано исключительно личными мотивами; это ни в коем случае не протест. Проблема состоит в том, что мне очень неприятна сама идея оценки человеческих “заслуг”. Меня тревожит мысль о том, что я являюсь членом группы, чья основная деятельность направлена на отбор кандидатов, достойных состоять в данной уважаемой, по их мнению, организации…

Возможно, я плохо объяснил; скажу лишь, что мне не нравится быть частью почетного общества, существование которого является его самоцелью».

Это было в 1961 году. Бронк молчал несколько месяцев. А потом ответил, сделав вид, что ничего не понял:

«Благодарю вас за то, что решили продолжить сотрудничество… Я сделал все возможное, чтобы не акцентировать “почетность” при отборе кандидатов… Я рад, что вы остаетесь членом академии в последний год моего председательства».

Через восемь лет Фейнман все еще состоял в академии. Он подал очередное прошение об отставке. Новый президент Филип Хэндлер ответил витиеватыми рассуждениями: «Полагаю, у нас нет альтернативы, в том смысле, что академия обязана учитывать ваши пожелания… — и продолжил, ловко переведя разговор в сослагательное наклонение: — Я бы счел вашу отставку крайне печальным событием… Пишу в надежде, что вы передумаете… Мне бы не хотелось принимать такое решение… Прежде чем удовлетворить вашу просьбу, о которой Госдепартамент, полагаю, уже осведомлен, я очень надеюсь услышать ваш окончательный ответ…»

И Фейнман ответил — в самых прямых выражениях. Хэндлер написал:

«Получил ваше не совсем понятное письмо… В данный момент мы стремимся сделать деятельность академии более значимой… Разве вы не хотите поддержать наши усилия?»

Наконец, в 1970 году до администрации все же дошло, что Фейнман не передумает. Коллеги еще долго потом спрашивали у него, правда ли, что он подал в отставку, и чем объясняется это решение.

Чикагский и Колумбийский университеты пригласили его на должность почетного профессора — он отказался, сдержав обещание, данное самому себе в Принстоне в день получения докторской степени. Отверг сотни других предложений с резкостью, поразившей даже его секретаршу, ревностно оберегавшую его личное пространство. Издателю, который обратился к нему с просьбой «вдохнуть струю свежего воздуха в душный мир физики», ответил: «Ну уж нет, сэр. В мире физики и так не протолкнуться из-за свежих струй». Он отказывался подписывать петиции и участвовать в рекламных кампаниях; многие ученые в то время выступали против войны во Вьетнаме, но публично он их не поддерживал. У нобелевского лауреата Фейнмана не получалось даже отменить подписку на журнал: для этого потребовались длительные переговоры. «Дорогой профессор Фейнман, — так начиналось длинное письмо от редактора Physics Today — того самого журнала, во втором номере которого вышла его статья о конференции в Поконо 1948 года, — комментарий, который вы прислали вместе с анкетой, приложенной к майскому номеру, вызвал у нас некоторое недоумение…» (комментарий

был следующего содержания: «Я не читаю ваш журнал. Не понимаю, зачем вы его издаете. Прошу вычеркнуть меня из числа подписчиков. Мне он не нужен».)

Написав четыреста слов, редактор не сдавался:

«Прошу прощения, что отнимаю у вас столько времени, но нам всем в Physics Today хотелось бы получить разъяснения по поводу вашего предыдущего высказывания».

И Фейнман разъяснил:

«Дорогие издатели!

Я не “все физики”. Я — это всего лишь я. Ваш журнал я не читаю, поэтому понятия не имею, о чем он. Может, он и хороший — не знаю. Просто не присылайте его мне. Пожалуйста, вычеркните меня из числа подписчиков, как я просил ранее. Мне все равно, что нужно или не нужно “всем физикам”, чего они хотят или не хотят… Я не хотел поколебать вашу уверенность в том, что вы издаете хороший журнал, и не предлагаю вам прекратить его издавать. Я просто хочу, чтобы вы перестали присылать его мне! Можете это сделать?»

Он все сильнее замыкался в своей раковине, зная, что иногда кажется холодным. Его секретарша Хелен Так по мере своих сил оберегала его, порой разворачивая посетителей, пока Фейнман прятался за дверью. Он мог накричать на какого-нибудь полного надежд студента: «Уходите, я работаю!» В Калтехе он почти никогда не участвовал в факультетских делах: не обсуждал административные назначения, не принимал решений о выдаче грантов — словом, сторонился любых «сверхурочных» обязанностей, отнимавших время у других ученых. Финансирование подразделений Калтеха, как и любого другого американского университета, осуществлялось главным образом в ходе строго упорядоченного процесса подачи заявок в министерства энергетики, обороны и другие государственные структуры. Заявки могли быть групповыми и индивидуальными, и именно за их счет выплачивались гонорары, стипендии, закупалось оборудование и покрывались прочие расходы. Так, старший профессор Калтеха, которому удалось договориться с BBC о частичной выплате ему гонорара, получал особую премию, которую можно было потратить на путешествия, покупку компьютера или стипендию аспиранта. Но Фейнман работал в Калтехе в одиночку, как и в науке вообще, и его отказ участвовать в этой процедуре вызывал насмешки коллег. Некоторые считали его эгоистом. Но историк науки Джеральд Холтон предположил, что Фейнман надел на себя своего рода власяницу. «Наверняка было непросто так жить, — писал он. — Нелегко сознательно принять решение не обременять себя

какими-либо обязательствами. Культура по определению их накладывает. А он был Робинзоном Крузо в большом городе». Исидор Раби однажды назвал физиков Питерами Пэнами человеческой расы. Фейнман цеплялся за свою свободу и возможность в чем-то оставаться ребенком. В его бумагах хранилась цитата Эйнштейна о «священной любознательности исследователя», «этом хрупком маленьком ростке, которому, помимо стимуляции, нужна лишь свобода; без нее он, несомненно, зачахнет и погибнет». Он оберегал свою свободу, как догорающую свечу на сильном ветру. И ради нее был готов даже обидеть друзей. Через год после вручения Фейнману Нобелевской премии Хансу Бете исполнилось шестьдесят лет, а Фейнман отказался написать статью для почетного сборника в его честь.

Он испытывал страх. За годы, прошедшие после вручения премии, его творческая энергия пошла на спад, и Фейнман чувствовал это. В начале 1967 года в сопровождении коллеги из Калтеха Дэвида Гудстейна он отправился в Чикагский университет, где его попросили выступить перед студентами. Он выглядел подавленным и обеспокоенным. Как-то раз, спустившись завтракать в столовую преподавательского клуба, Гудстейн увидел там Фейнмана, беседующего с человеком, который оказался Джеймсом Уотсоном — одним из ученых, открывших ДНК. Уотсон передал Фейнману рукопись, скромно названную «Честный Джим». По нынешним меркам это были довольно сдержанные мемуары, но после публикации (под названием «Двойная спираль») они произвели в обществе фурор. С прямотой, шокировавшей многих его коллег, автор рассказывал про амбициозность ученых, их конкуренцию, неудачи, непонимание; он также описывал атмосферу чистого восторга, царившую в мире реальной науки. Фейнман прочел рукопись в комнате факультетского клуба, пропустив из-за этого вечеринку в свою честь. Мемуары Уотсона тронули его до глубины души. Позднее он написал ему письмо:

«Не позволяйте никому, кто не прочел эту книгу до конца, критиковать ее. Все ее мелкие изъяны, все, что поначалу выглядит как обычные сплетни, начинает представляться совсем иным, стоит постичь ее глубинный смысл… Люди, которые утверждают, будто “в науке все не так”, ошибаются… Когда вы передаете на бумаге то, что происходит в вашей голове, когда истина неуверенно вырисовывается и раскрывается, обретая четкие очертания, вы чрезвычайно точно описываете, как все происходит в науке. Я знаю, ибо я пережил тот же прекрасный и пугающий опыт».

Вечером того же дня в Чикаго он огорошил Гудстейна, всучив

ему книгу Уотсона и заявив, что тот должен ее прочитать. Гудстейн ответил, что сделает это с удовольствием. «Нет! — отрезал Фейнман. — Вы должны прочесть ее сейчас». Гудстейн так и сделал, и читал до самого рассвета, пока Фейнман мерил шагами комнату или сидел и что-то записывал на листке бумаги. В какой-то момент Гудстейн заметил: «Знаете, просто удивительно, что Уотсон сделал такое открытие, хотя понятия не имел, чем заняты другие в его области науки».

Фейнман показал ему листок бумаги, на котором только что писал. Среди неразборчивых каракуль и рисунков четко читались слова: «ИГНОРИРУЙ ВСЕХ».

— Вот то, о чем я забыл, — сказал он.

Кварки и партоны

В 1983 году, вспоминая, какой путь проделала физика частиц со времен вошедшей в историю конференции на Шелтер-Айленде, Мюррей Гелл-Манн сказал, что он и его коллеги вывели теорию, которая оказалась «эффективной». С этим было не поспорить. Он подытожил многолетние исследования одной изящной фразой (гораздо более элегантной, чем фейнмановское «все в мире сделано из атомов»):

«Разумеется, речь идет о теории Янга — Миллса, основанной на цветной группе SU(3) и электрослабой группе SU(2) U(1) с тремя семьями лептонов и кварков с полуцелым спином, их античастиц и бесспиновых бозонов Хиггса, сгруппированных дублетами и антидублетами со слабым изотопическим спином, расщепляющим электрослабую группу до электромагнитной группы U1».

Слушатели сразу узнали типичного Гелл-Манна: все, что следовало за словом «разумеется», было характерно для присущей лишь ему манеры изъясняться. Поклонники находили поэтичным его жаргон, который он по большей части придумал сам. Гелл-Манн по-прежнему увлекался лингвистикой. Весь следующий час он, как и всегда, перемежал научные рассуждения потоком заумных каламбуров и шуток о номенклатурных названиях и именах: «Кстати, некоторые называют хигглет иначе (показывает коробку стирального порошка “Аксион”[160]), а следовательно, вы легко найдете его в любом супермаркете»; «В Греции много физиков: Димопулос, Нанопулос, Илиопулос, и, чтобы не обидеть наших французских друзей, нельзя не упомянуть Растапопулоса[161]»; «О’Раферти (это упрощенное написание его имени; на самом деле вместо *ф* положено писать *тхбх*)»; и так далее.

Некоторых раздражала его манера (особенно тех, чьи имена он анализировал на предмет произношения), но это было не так уж и важно. В 1960-е и 1970-е годы Гелл-Манн оставался самым мейнстримовым физиком из всех и работал в наиболее популярном научном направлении — том самом, которое Фейнман пытался «игнорировать». Во многом эти две иконы современной науки были полярными противоположностями, Адольфом Менжу и Уолтером Маттау[162] теоретической физики. Гелл-Манну нравилось узнавать и правильно произносить названия — настолько правильно, что Фейнман однажды не понял (или сделал вид, что не понял) такое простое слово, как *Монреаль*. Собеседникам Гелл-Манна часто казалось, что

непопулярные варианты произношений и культурные аллюзии он использует с одной целью — внушить им чувство собственной неполноценности. А Фейнман презирал педантичную точность и произносил слова «как пишется, так и слышится», иногда нарочно делая ошибки. Гелл-Манн увлекался наблюдением за птицами и весьма преуспел в этом; классическая байка Фейнмана о его отце гласила, что название птицы не имеет значения, — и Гелл-Манн отлично понимал, в чей огород этот камень.

Описывая их непохожесть, коллеги прибегали ко все новым метафорам. «Мюррей, — говорили они, — из кожи вон лезет, пытаясь доказать всем свою неординарность, в то время как Дик — совершенная форма жизни, которая лишь притворяется человеком, чтобы пощадить чувства окружающих. Мюррея интересует почти все, кроме ветвей науки, не относящихся к физике высоких энергий: их он открыто презирает. Для Дика такого деления не существует, он считает науку своей территорией и компетенцией, хотя во всем остальном вопиюще невежественен. Кое-кто из весьма известных физиков терпеть не мог Фейнмана за его безответственность, которой он как будто даже гордился. Гелл-Манна тоже недолюбливали — за высокомерие и острый язык».

И этим сравнениям не было конца. Дик ходил в рубашке, Мюррей — в твидовом костюме. Мюррей обедал в «Атениуме», факультетском клубе, а Дик — в обычной столовой, «тошниловке». (Это было не совсем так. Обоих можно было встретить в любом из этих мест. В «Атениум» тогда не пускали без пиджака и галстука, но Фейнман всегда приходил в рубашке и брал с вешалки гостевых пиджаков самые нелепые и не подходящие ему по размеру экземпляры.) Фейнман говорил руками и даже всем телом, а Гелл-Манн, как подметил физик и научно-популярный автор Майкл Риордан, «спокойно сидел за столом в мягком голубом вращающемся кресле, сложив руки на груди и не меняя позы на протяжении всего разговора… Его способом передачи информации были слова и числа, а не жесты и образы».

«Эти индивидуальные различия отчетливо видны и в их теоретических исследованиях, — продолжает Риордан. — Труды Гелл-Манна основаны на математической строгости, и ради нее он готов пренебречь доступностью изложения. Гелл-Манн презирает туманные эвристические модели, служащие лишь стрелкой, указывающей верное направление; Фейнман же ими упивается, считая, что без некоторой доли неточности и двусмысленности невозможно выразить суть теории».

Однако на самом деле их методы не так уж различались.

Коллеги, хорошо знавшие обоих как серьезных ученых, видели, что им несвойственно прятаться за формализмом и подменять математикой физическое понимание. Даже те, кто считал Гелл-Манна лингвистическим и культурным снобом, признавали, что в физике его, как и Фейнмана, отличали честность и прямота. За годы своей долгой карьеры Гелл-Манну удалось не только объяснить свое в*и*дение, но и очаровать им тысячи ученых. Напав на новый след, они оба неустанно шли по нему, проявляя абсолютную концентрацию и готовность испробовать любые методы.

А еще каждый из них придумал себе определенный образ, что не осталось незамеченным для наблюдательных коллег. «Мюррей носит маску человека высококультурного, — говорил Сидни Коулман. — А Дик — рубахи-парня, мальчишки из пригорода, который видит то, чего не замечают городские пижоны». Оба пытались соответствовать этим шаблонам, и в конце концов реальность стало невозможно отличить от притворства.

Гелл-Манн — натуралист, коллекционер и специалист в области классификаций — как нельзя лучше подходил на роль ученого, способного интерпретировать стремительно растущую вселенную частиц в 1960-е. Новые технологии в сфере ускорителей (на этот раз пузырьковые камеры с жидким водородом и компьютеры, позволяющие автоматизировать анализ треков столкновения) открыли ящик Пандоры, и сотни доселе неизвестных частиц вырвались на свободу. В 1961 году Гелл-Манн и — независимо от него — израильский физик-теоретик Юваль Неэман нашли способ свести в единую систему различные симметрии спинов и странности. В алгебраической терминологии это была группа, известная как SU(3), — хотя Гелл-Манн вскоре в шутку окрестил ее «*восьмеричным путем*»[163]. Восьмеричный путь напоминал сложный прозрачный объект, в котором, если поднести его к свету, обнаруживались семьи из восьми, десяти или даже двадцати семи частиц. Эти семьи были разными, но некоторые их свойства совпадали, в зависимости от того, как на них смотреть. Восьмеричный путь стал новой периодической таблицей, которая считалась триумфом классификации прошлого века, так как выявила скрытые закономерности в мире разрозненных химических элементов, между которыми существовала численная взаимосвязь. Но по сравнению с таблицей Менделеева открытие Гелл-Манна являлось более динамической системой. В теории групп одна операция влекла за собой множество других, как перетасовка карточной колоды или поворот граней кубика Рубика.

Теория Гелл-Манна обладала такой силой, потому что была

воплощением концепции, которую любой физик высоких энергий считал краеугольным камнем своего метода, — концепции неточной симметрии, «почти-симметрии», или — термин, который укоренился в итоге, — *нарушенной симметрии*. В мире частиц было полно таких почти-симметрий, представлявших опасность для теоретика: они служили своего рода «запасным выходом» на случай, если ожидания не совпадут с реальностью. Нарушенная симметрия подразумевала процесс, изменение состояния. Когда вода замерзает, она утрачивает свою симметрию; система временно выглядит иначе, если взглянуть на нее с другой стороны. Типичный пример нарушения симметрии — магнит, который сам «выбирает», как себя вести. В физике частиц такие примеры часто казались выбором, сделанным Вселенной, когда она сгущалась и из горячего хаоса превращалась в прохладное вещество, содержащее многочисленные случайные асимметрии.

В очередной раз доверившись своим расчетам, Гелл-Манн предсказал существование доселе неизвестной частицы, которая является следствием нарушения симметрии. Омега-гиперон обнаружили в 1964 году; для этого команде из тридцати трех физиков-экспериментаторов пришлось просмотреть более трехсот тысяч метров фотопленки. Через пять лет Гелл-Манн получил свою Нобелевскую премию.

Его следующее и самое знаменитое открытие было сделано в результате попыток понять и объяснить эффективность «восьмеричного пути» для описания поведения частиц. SU(3) наряду с восьмикомпонентными и десятикомпонентными семьями должна была включать основную семью из трех элементов. Это выглядело странным упущением. Согласно теории групп эта троица должна была обладать дробными электрическими зарядами: $^{2}/_{3}$ и $^{-1}/_{3}$. Поскольку до сих пор заряд всех частиц был единичным, это казалось невообразимым даже по современным стандартам. И тем не менее в 1963 году Гелл-Манн и — независимо от него — молодой физик-теоретик из Калтеха Джордж Цвейг выдвинули такое предположение. Цвейг назвал свои частицы *тузами*, но верх в лингвистической битве снова одержал Гелл-Манн, предложивший в качестве названия бессмысленное кряканье, *кварк*. (Вообще-то Гелл-Манн настаивал, что придуманное им слово произносится иначе — «кворк», но название прижилось. А позже он обнаружил, что в литературе слово «кварк» уже встречалось: в романе Джойса «Поминки по Финнегану» была фраза «три кварка для мистера Марка».)

Гелл-Манну и другим ученым понадобились годы на изобретение всевозможных уловок, чтобы подвести поведение

кварков под сколько-нибудь логичную схему. Так, им пришлось придумать новую характеристику частиц под названием «цвет»: она была совершенно искусственной, никак не связанной с цветом в привычном понимании. Другой такой характеристикой был «аромат»: Гелл-Манн решил, что аромат у частиц может быть *верхним, нижним* и *странным*. Также предполагалось существование антикварков и антицвета. Новая частица-посредник, получившая название *глюона*, должна была переносить цветовое взаимодействие от одного кварка к другому. Все эти новшества вызвали в сообществе физиков весьма скептическую реакцию. Джулиан Швингер написал, что эти частицы, видимо, издают «оглушительный писк, щебет, кряки и кварки». Цвейг, гораздо более чувствительный к критике, чем Гелл-Манн, решил, что его карьере нанесен непоправимый урон. Теоретикам кварка пришлось смириться с мыслью, что их частица так никогда нигде и не появится, хотя ее усиленно искали в ускорителях и глубоководных морских отложениях, подвергнувшихся воздействию космических лучей.

Проблема соотнесения кварков и реальности стояла гораздо острее аналогичной проблемы с уже знакомыми электронами. У Цвейга был конкретный взгляд на кварки — и чересчур умозрительный для научного сообщества, еще со времен Гейзенберга научившегося обращать внимание лишь на *наблюдаемое*. Гелл-Манн сказал о его работе: «Наглядная модель кварков? Это для болванов». Он отдавал себе отчет в том, какие философские и социологические проблемы создаст утверждение о реальности кварков. Для него самого кварки поначалу были элементом некой создаваемой им игрушечной теории, которую он подробно исследовал, чтобы потом отбросить. «Забавно размышлять о том, как вели бы себя кварки, будь они физическими частицами с конечной массой (а не чисто математическими величинами, масса которых равна бесконечности)», — писал он. «*Будь они* физическими частицами» — математики всегда находили прибежище в сослагательном наклонении. Он призывал «искать устойчивые кварки», но тут же добавлял: «Эти поиски помогут убедиться в том, что кварков в реальности не существует». В последующие годы комментаторы не раз ставили подобные оговорки ему в вину. Один физик был особенно беспощаден: «Я всегда считал эти слова закодированным посланием. На самом деле оно означало: если кварки не найдут, вспомните, что я это предвидел; если найдут, не забудьте: я обнаружил их первым». Для Гелл-Манна эти уколы стали постоянным источником обиды.

Тем временем Фейнман так долго игнорировал происходящее

в физике высоких энергий, что попытка нагнать текущую ситуацию сама по себе превратилась в долгосрочный проект. Он старался уделять больше внимания экспериментальным данным, а не выкладкам теоретиков. Как и раньше, он читал научные работы лишь до тех пор, пока не вникал в суть, а дальше пытался найти решение проблемы самостоятельно. «Я всегда считал, что мне достаточно постичь закономерности природы, а разбираться в методах моих коллег совсем необязательно», — сказал он в эти годы одному историку. И он действительно сумел противостоять «модным» направлениям исследований. Однако теперь он был вынужден повернуться лицом к сообществу, от которого столько лет держался в стороне. Настало время, когда без общепринятой методологии обойтись было невозможно, и аутсайдеру стало не под силу решать всё более сложные и специфические проблемы современной физики. Фейнман, одно время прекративший преподавать физику высоких энергий, в конце 1960-х начал снова. И поначалу кварки не входили в программу его курса.

К концу 1960-х — началу 1970-х в лаборатории, расположившейся среди пологих холмов Северной Калифорнии недалеко от Стэнфордского университета, установили новый ускоритель. Он сыграл главную роль в экспериментах с сильным взаимодействием, которые и помогли обнаружить кварки. Трехкилометровая труба Стэндфордского центра линейного ускорителя[164] пролегла под травянистым ландшафтом. Наверху, на земле, на фоне пасущихся коров молодые физики в рубашках и джинсах — всего около ста человек — отдыхали за столами для пикников и сновали между многочисленными корпусами. А внизу, под землей, в прямой, как лезвие ножа, медной вакуумной трубе поток электронов устремлялся к протонной мишени. Здесь электроны достигали энергий гораздо больших, чем могли предположить ученые. Они поражали цель внутри конечной станции, сконструированной наподобие гигантского самолетного ангара, и затем, если повезет, входили в детектор, расположенный в бетонном блокгаузе (он был выложен свинцовыми кирпичами и передвигался по железнодорожным рельсам почти под самым потолком). В одних случаях результат фиксировали высокоскоростные кинокамеры, в других — группы ученых при помощи автоматического устройства, способного распознавать треки частиц на сотнях миллионов отснятых кадров (стандартное число снимков, получаемое в ходе эксперимента длиной в месяц). В одной пузырьковой камере, расположенной на конце луча, за пять с половиной лет ее службы обнаружилось семнадцать новых частиц.

С помощью ускорителя ученые исследовали сильное

взаимодействие. (Эта сила получила такое название, поскольку на крайне малых расстояниях внутри ядра именно она противостояла электромагнитному отталкиванию и связывала протоны и нейтроны.) Подверженные ему частицы получили общее название *адронов*. Фейнман пытался понять механизм сильного взаимодействия при столкновении адронов. Проблема была не из простых: при высоких энергиях столкновения, ставших доступными для изучения при исследовании внутриядерных процессов, «кусочки» адронов разлетались в стороны совершенно бессистемно. Сами адроны не были ни простыми, ни точечными. У них был размер, и они, по-видимому, состояли из других частиц. Фейнман говорил, что пытаться разобраться во взаимодействии адронов — все равно что стараться изучить строение наручных часов, ударяя их друг о друга и наблюдая, как осколки разлетаются во все стороны. Тем не менее летом 1968 года он стал регулярным гостем в Стэнфордском центре и увидел, насколько проще было взаимодействие электронов и протонов: электрон просто врезался в протон, как пуля.

Он остановился у сестры. Джоан получила работу в исследовательской лаборатории и переехала в Стэнфорд. Ее дом находился через дорогу от Сэнд-Хилл-Роуд и Национальной лаборатории. Тем летом в патио Фейнманов часто собирались физики, чтобы послушать истории Ричарда; когда ему в голову приходила новая идея, он оглушительно громко хлопал в ладоши. Например, он говорил о «блинчиках», визуализируя частицы как лепешки с твердой начинкой.

Сотрудничество с Калтехом представлялось экспериментаторам из Стэнфордского центра очень важным, но к концу 1960-х в Калтехе правил Гелл-Манн, а не Фейнман. Методы Гелл-Манна — современная алгебра и математический каркас его теории кварков — привели к возникновению целой научной субкультуры; теоретики из Стэнфордского центра пытались применить его инструменты к малым расстояниям и более высоким энергиям. В центрах ускорителей вроде Стэнфордского теоретики изучали главным образом простейшие реакции — две частицы на входе, две на выходе, — хотя в результате большинства столкновений рождались многочисленные новые частицы. Экспериментаторы стремились получить максимально точные данные, но в этом хаосе какая-либо точность, казалось, была невозможна. Фейнман придерживался другой точки зрения. Он вывел формулу, при помощи которой можно было оценить рассеяние двадцати, пятидесяти и даже большего количества частиц. При этом импульс каждой частицы измерять не требовалось — нужно было лишь просуммировать все возможные

варианты. Похожую теорию тогда развивал физик-теоретик из Стэнфорда Джеймс Бьоркен. Электрон «врезается» в протон и выходит с другой стороны вместе с «брызгами» не поддающихся измерению фрагментов. Единственным неизменным фактором в данном случае остается выходящий электрон. Бьоркен решил не рассчитывать величины всех многочисленных «брызг», а определить рассеяние и траекторию выходящих электронов — среднюю для многочисленных столкновений.

В ходе работы с данными он вывел удивительную закономерность — феномен, который назвал *скейлингом* — *масштабной инвариантностью*[165]. Независимо от величины импульса и энергий процесса рассеяния электронов данные выглядели одинаково. Бьоркен не нашел, как это интерпретировать. У него возникло несколько догадок, которые он описал языком современной алгебры. Когда Фейнман прибыл в Стэнфорд, Джеймс был в отъезде. Увидев график, составленный Бьоркеном, и не зная, для чего он предназначен, Фейнман понял его смысл и продолжил расчеты. Это заняло у него весь вечер. Оказалось, график иллюстрировал его собственную теорию блинчиков, которой он посвятил все лето.

Фейнман решил «замести под ковер» не поддающийся исчислению кишащий рой протоновых фрагментов, предположив существование таинственной новой частицы, которую назвал *партоном* (не мудрствуя лукаво, он образовал название частицы от слова *part* — часть). Так в «Оксфордском словаре английского языка» наконец появилось придуманное им слово. Фейнман сделал лишь два предположения о природе партонов: это точечные частицы, и между ними не происходит какого-либо значительного взаимодействия: они просто свободно плавают внутри протона. Это была всего лишь абстракция, не поддающееся наблюдению понятие, а физики старались без особой необходимости к таким понятиям не прибегать. Но партоны на удивление легко визуализировались. Они оказались теми самыми крючками, на которые без труда крепилась прежняя теория поля, где все было понятно и управляемо — теория с волновыми функциями и легко высчитываемыми амплитудами вероятностей. Нашлась аналогия и в квантовой электродинамике: здесь тоже были свои партоны — «голые» электроны и фотоны.

Фейнман показал, что столкновение с этими твердыми «кусочками» внутри протона совершенно естественным образом и приводит к масштабной инвариантности (о чем и говорил Бьоркен), в отличие от столкновений с полновесными целыми протонами. Он предпочел не определять, каким квантовым числом они обладают, и решил ни в коем случае не переживать

из-за того, окажутся ли его партоны и кварки Гелл-Манна и Цвейга с дробным зарядом одной и той же частицей.

К возвращению Бьоркена теория групп уже кишела партонами. Фейнман осадил его расспросами. Бьоркен боготворил Фейнмана еще со студенческой скамьи, со времен старого курса квантовой электродинамики в Стэнфорде. «Когда появились фейнмановские диаграммы, — вспоминал он, — это было как солнце, пробивающееся сквозь тучи, — с радугами и горшочком золота. Блестяще! Глубокое физическое объяснение!» А теперь сам Фейнман во плоти стоял перед ним и объяснял ему его же теорию — только новым языком, используя новые визуальные образы. Бьоркен сразу понял, что Фейнману удалось разгадать загадку, мысленно поместив себя внутрь электрона и таким образом увидев то, что видит электрон, движущийся со скоростью света, — летящие ему навстречу протоны, которые сплющились до блинчиков в силу релятивизма. Релятивизм замедлил их внутреннее время, по сути — и с точки зрения электрона — заморозив протоны и сделав их неподвижными. Хаотичное взаимодействие электрона с океаном разных частиц в теории Фейнмана представало гораздо более простым взаимодействием электрона с единственной точечной частицей, которую он выделил в этом океане, — партоном. Прямым следствием такой физической картины и был скейлинг Бьоркена. Экспериментаторы моментально воспользовались этой моделью, объяснявшей их данные.

Партонная модель была чрезмерным упрощением. Она не объясняла ничего, что не смог бы объяснить Бьоркен, но при этом объяснение Бьоркена казалось не таким всеобъемлющим. Партоны были понятием весьма абстрактным; рассказать о них без бурной жестикуляции не представлялось возможным. Но физики ухватились за партонную модель как за спасательный круг. Через три года Фейнман опубликовал официальное исследование, но понадобилось еще много лет, прежде чем в научных кругах пришли к окончательному и решительному пониманию, что партоны и кварки — одна и та же частица.

Тузы Цвейга, кварки Гелл-Манна и партоны Фейнмана стали тремя путями к одному и тому же пункту назначения. Эти составляющие материи являлись квантами нового поля, благодаря чему наконец появилась возможность вывести теорию поля для сильного взаимодействия. В отличие от более старых частиц, кварки так никто и не обнаружил; тем не менее они были признаны реальными. В 1970 году Фейнман и два его студента взялись за совместный проект. Фейнман хотел собрать обширный каталог данных по частицам, пытаясь понять, объясняет ли

простая партонная модель поведение *всех* частиц. Он снова выбрал необычную схему, используя не данные по столкновению адронов, интересовавшие большинство теоретиков, а сведения, позволявшие ему мыслить в категориях электромагнитной теории поля последнего поколения. Как бы то ни было, убедившись в верности своей идеи, он, по его собственным словам, «обратился в кваркерианство», хотя и подчеркивал, что любая модель ненадежна. «Возможно, кварковая картина является фундаментальной для физики адронов, — говорилось в его работе. — Что касается ее парадоксов, нам нечего больше добавить — разве что показать, как точно эта удивительная модель объясняет все». Молодые теоретики научились объяснять конфайнмент — неспособность наблюдать кварки в свободном состоянии, то есть поодиночке — с точки зрения силы, стремительно растущей по мере увеличения расстояния, что составляло странный контраст с силами гравитации и электромагнетизма[166]. Кварки стали реальными не только потому, что в ходе хитроумных экспериментов их опосредованно можно было «увидеть», но и потому, что физикам-теоретикам стало все сложнее сконструировать стройную модель, в которой не было бы кварков. Они стали настолько реальными, что их изобретателю Гелл-Манну пришлось постфактум выслушивать критику: мол, почему он раньше в них не верил? Гелл-Манн так и не понял, зачем Фейнман создал свой альтернативный кварк, и настаивал на различении кварка и партона, хотя в конце концов границы между ними стерлись. При любой возможности он называл частицы Фейнмана аферой. Как и Швингеру много лет назад, Гелл-Манну пришлось не по душе, что физики прославляют идею, которая ему представлялась чрезмерно простой и которую мог использовать кто угодно.

Кварки оказались реальными и остаются такими, по крайней мере, для физиков нашего времени. Партоны — нет. Но что это значит — реальность? Для Фейнмана этот вопрос никогда не терял своей значимости. В книге «Взаимодействие фотонов с адронами», составленной из его лекций на эту тему, содержатся следующие размышления:

«Мы построили очень высокий карточный домик, водрузив друг на друга множество необоснованных гипотез… Даже если наш домик не развалится и окажется построенным правильно, это не докажет существование партонов… С другой стороны, партоны могли бы стать полезной психологической уловкой… и если они по-прежнему будут подтверждать другие верные предположения, то в итоге станут «реальными» — не менее реальными, чем любая теоретическая структура, придуманная для описания природы».

Фейнман снова оказался в центре современной физической теории. Его язык и методы главенствовали в физике высоких энергий еще несколько лет. Тем временем ему не терпелось двигаться дальше — по крайней мере, он убеждал себя в этом.

«Я немного расстроен, — признался он историку после публикации первой работы о партонах. — Тяжело думать об одном и том же, поэтому мне нужно сменить тему. Видите ли, если я буду и дальше заниматься тем же самым, все будет в порядке, но добиться новых результатов будет трудно… Эти партоны имели такой успех, что я стал популярным. Мне необходимо срочно найти другое, непопулярное занятие».

Фейнман регулярно отказывался давать рекомендации для Нобелевского комитета, но в 1977 году, после того как Гелл-Манну уже вручили Нобелевскую премию (1969), он нарушил свое правило и втайне от всех порекомендовал номинировать на нее Гелл-Манна и Цвейга — ученых, открывших кварки.

Ричард: (тихонько напевает себе под нос) Джи-джи-джи, джу-джу. Джи-джи-джи, джу-джу. (Он работает. Рядом идет уборка посуды после завтрака. Тихо жужжит магнитофонная пленка, фиксируя происходящее; один из друзей принес магнитофон и попросил оставлять его включенным, надеясь записать спонтанные воспоминания Фейнмана.) Джи-джи-джи-джу-джу. (Резко останавливается.) Какой-то дурак тут ошибся. Какой-то полный болван посчитал все неправильно.

Мишель: Наверное, ты.

Ричард: Я? Как это — я? (Молчит.) Какой-то идиот все сделал не так. (Снова поет.) Есть у нас тут идиот, который все сделал не так?

Мишель: Да! Ты!

Ричард: Мишель, дорогая, поосторожнее с выражениями. Ведь твой папа — славный парень, и ему не нужны проблемы. (Пауза.) Подумаешь, ошибся. Бывает. Сама знаешь. Это не значит, что твой папа — болван. (Отбивает пальцами резкую дробь.) Тут явно ошибка! Дураку ясно.

Лишь спустя много лет дети Фейнмана поняли, что их отец не похож на других отцов. Обычно он был рассеян и сидел, развалившись в потрепанном собакой кресле, или лежал на полу; записывал что-то в блокноте и мурлыкал себе под нос, полностью погруженный в свои размышления, которые ничто не могло прервать. Он обожал детей и рассказывал им совершенно невероятные истории. В одной из них, многосерийной саге, они уменьшились и стали миниатюрными жителями гигантского дома. Фейнман описывал лес коричневых деревьев без листьев, и они внезапно догадывались, что речь идет о ковре. Или сажал их на колени и спрашивал: «О чем вы уже знаете? Вы знаете, что такое бетон, резина и стекло…» Он учил их основам экономики: когда цены подскакивают, люди начинают меньше покупать; производители устанавливают цены, чтобы максимизировать прибыль; на самом деле экономистам известно очень мало… Порой им казалось, что отец существует с одной целью — позорить их на публике: он притворялся, что бьет их газетой по голове, или разговаривал с официантом, делая вид, что говорит по-итальянски. Мишель он казался почти невыносимо шумным: вечно пел и насвистывал себе под нос. Бродя по дому, придумывал рифмы на ходу: «Я завяжу себе шнурки/одним движением руки», а когда его просили повторить только что придуманный стих, не мог этого сделать. Постепенно дети

осознали, что отнюдь не все их друзья могут открыть энциклопедию и увидеть там имя своего отца. Мать Ричарда была еще жива, и в ее присутствии он снова становился ребенком. Люсиль говорила: «Ричард, что-то я замерзла — надень свитер, пожалуйста». Когда журнал «Омни» назвал его самым умным человеком в мире, она фыркнула: «Если *это* самый умный в мире человек, да поможет нам Бог».

К великому восторгу Фейнмана, у Карла рано проявились способности к науке. Когда сыну было двенадцать, Фейнман показал ему необычную фотографию, которую привез из канадской лаборатории, и Карл верно догадался, что на ней изображен «рисунок рассеяния лазерного луча через решетку со стандартно расположенными квадратными отверстиями». Фейнман тут же стал хвастаться друзьям: «Я готов был его убить! А ведь я боялся спрашивать, какое фокусное расстояние объектива он использует». Он пытался не наседать и убеждал себя: какую бы стезю ни избрали его дети, он будет рад («Хочешь, играй на трубе, будь социальным работником, да хоть марки собирай», — писал он Карлу.) Главное, чтобы они были счастливы и успешны в своей профессии. Но когда Карл окончил колледж и поступил в университет, а это был МТИ, его выбор, пожалуй, был единственным, который гарантированно мог выбить отца из колеи. «Что ж, — писал Фейнман, — я долго пытался понять и наконец, как мне кажется, смирился с твоим решением стать философом». Но на самом деле не смирился. Подобно бизнесмену, чей сын захотел стать поэтом, он чувствовал, что его предали и обманули.

«Я все время думаю: как можно быть хорошим философом? Видимо, как сын богача, который ни разу не задумывался о деньгах и решает стать поэтом (потому что ждет, что его старик заплатит за все), ты предпочел философию рациональной мысли (потому что твой старик продолжит рационально мыслить за всех). Зато теперь ты сможешь подняться над здравым смыслом и воспарить к гораздо более высоким и тонким аспектам интеллекта».

«И, наверное, здорово, — саркастически добавлял он, — что у тебя это получается». Воспитание детей заставило его задуматься о системе образования и уроках, которые преподал ему собственный отец. Когда Карлу исполнилось четыре, Фейнман активно выступал против нового учебника естественных наук для первого класса, который собирались ввести в калифорнийских школах. На первой странице были изображены: заводная игрушечная собака, настоящая собака и мотоцикл. Под картинками значился вопрос: «Что заставляет их двигаться?»

Фейнман пришел в ярость, узнав предполагаемый ответ — «энергия».

Это тавтология, утверждал он, определение, лишенное смысла. Фейнман, посвятивший всю свою карьеру попыткам постичь глубокий абстрактный смысл энергии, был убежден, что в начале обучения естественным наукам лучше взять и разобрать эту самую игрушечную собачку, обнажив скрытый хитроумный механизм шестеренок и храповиков. Сказать первокласснику, что «собачкой движет энергия» — все равно что заявить «ею движет Бог» или «ею движет способность двигаться». Он предложил простой тест, с помощью которого можно было бы выявить, чему учит педагог — мыслить или запоминать пустые определения:

«Надо дать ученикам задание: не используя слово “энергия”, самостоятельно рассказать, что нового они узнали о движении собачки».

Другие стандартные объяснения из учебника были такими же неинформативными: «объекты падают из-за гравитации»; «объекты изнашиваются из-за трения». Фейнман преподавал фундаментальные основы первокурсникам Калтеха, но считал, что все то же самое доступно пониманию первоклассника. «Подошва ботинок изнашивается, потому что трется о тротуар; она зацепляется за маленькие неровности и бугорки на дороге и рвется». Вот это настоящие знания, считал он. «А если просто сказать “ботинки изнашиваются из-за трения”, это не наука, и меня такие формулировки удручают».

За время работы в Калтехе Фейнман прочел тридцать четыре программных курса — примерно по одному в год. Большинство из них предназначались аспирантам и были специальными: «Продвинутый курс квантовой механики»; «Вопросы теоретической физики». Тема курса часто совпадала с текущими научными интересами Фейнмана. Порой, сами того не осознавая, слушатели становились свидетелями первого и последнего отчета о значительном открытии, которое любой другой физик тут же поспешил бы опубликовать. А еще он почти двадцать лет читал курс, не упомянутый ни в одном списке, — «Физика X». Раз в неделю аспиранты собирались и задавали любые научные вопросы, какие только пожелают, а Фейнман отвечал, и это была полная импровизация. Он производил на студентов неизгладимое впечатление: те часто уходили из лаборатории Лауритцена в подвале Калтеха с ощущением, что посетили сеанс всеведущего оракула, который, однако, нисколько не кичился своим знанием, а считал его доступным всем и каждому. В то время как предмет его изучения — квантовые частицы — становился все более абстрактным и эзотерическим, он верил, что истинное понимание

требует ясности. Один физик как-то попросил его в простых терминах объяснить стандартное явление: почему частицы с дробным спином подчиняются статистике Ферми — Дирака. Фейнман пообещал подготовить лекцию для первокурсников по этой теме. И в кои-то веки у него ничего не вышло. «Я не смог упростить эту концепцию до уровня новичков, — признался он через несколько дней и добавил: — Значит, на самом деле мы ее не понимаем»[167].

Участвуя в образовательных инициативах, он думал прежде всего о своих детях. В 1964 году он принял редкое для ученого такого уровня решение вступить в общественный комитет, который занимался отбором учебников для калифорнийских начальных школ. Исторически членство в этом комитете было синекурой; участники негласно получали «пряники» от издателей. Как выяснил Фейнман, учебники почти никто не читал. Но он вознамерился прочесть их все — и тонны книг доставили к нему домой. Это была эпоха «новой математики» в начальном образовании — попытка модернизировать преподавание в школе путем введения таких сложных концепций, как теория множеств и недесятичное исчисление. Новая математика закрепилась в школах страны на удивление быстро, несмотря на беспокойство родителей, которое хорошо передавала карикатура в журнале New Yorker. «Смотри, пап, — говорила маленькая девочка, — это множество включает все заработанные тобой доллары; твои расходы — подмножество. А твои налоговые вычеты — подмножество этого подмножества».

Фейнман модернизаторов не поддержал. Вместо этого он проткнул мыльный пузырь новой математики. Своим коллегам по комитету он заявил, что множества в этих учебниках не что иное, как извращенный педантизм, введение новых определений ради самих определений, типичный пример обучения словам без объяснения понятий. Например, первоклассникам предлагали решить задачу: «Определи, равно ли множество конфет множеству девочек». Фейнман считал это настоящей болезнью. Из формулировки просто убрали всю ясность, сделав ее более размытой по сравнению с обычным предложением: «Определи, хватит ли девочкам конфет». Специальная терминология может подождать своего часа, говорил он, а уж специфический язык теории множеств вообще никогда никому не пригодится. Зато, как обнаружилось, в модернизированных учебниках не затрагивались те сферы, в которых эта теория становится действительно полезной и имеет смысл, а не остается пустым определением, в частности различные степени бесконечности.

«Это крайний пример употребления новых слов и

определений, так как факты здесь вообще не объясняются… Большинство людей, прочитавших этот учебник, наверняка удивятся, если я скажу им, что символы ∪ или ∩, обозначающие сумму и пересечение множеств… и все сложные обозначения множеств, которые в нем содержатся, почти никогда не встречаются в работах по теоретической физике, в инженерии, бизнесе, арифметике, компьютерном дизайне и прочих сферах, где используется математика».

Объяснить, что он имел в виду, без углубления в философию было невозможно. Крайне важно, доказывал он, видеть разницу между *ясными* формулировками и *точными*. В учебниках стали делать акцент на точность: объяснять, чем отличается «число» от «цифры», отделять символ от реального объекта в духе современной критической мысли. Но на ученика начальных классов это действовало как снотворное. Фейнман был против того, чтобы внимание школьников фокусировали на различиях между мячом и изображением мяча; против введения таких формулировок, как «раскрась *изображение мяча* в красный цвет».

«Сомневаюсь, что есть дети, которые не понимали бы разницы между этими понятиями, — саркастически заметил Фейнман. — И вообще, невозможно быть точным… если раньше эта задача не представляла сложности. Изображение мяча включает круг и фон. Нужно ли раскрашивать весь квадратный участок листа бумаги в красный цвет, чтобы мяч слился с фоном? Педантичное стремление к точности характерно лишь для тех областей математики, которые изначально не вызывали сомнений и содержали очень простые идеи».

В реальном мире, снова подчеркнул он, абсолютная точность — недостижимый идеал. Различия следует приберечь для тех случаев, когда возникают сомнения.

У Фейнмана имелись свои соображения по поводу того, как обучать детей математике. Он предложил, чтобы первоклассников учили складывать и вычитать примерно таким же образом, как он высчитывал свои сложные интегралы — позволяя выбирать любой метод, подходящий для решения задачи. В современном школьном обучении главенствовала идея «ответ неважен, главное, чтобы ребенок использовал правильный способ вычисления». Для Фейнмана не могло быть более ущербной образовательной философии. «Ответ — вот единственное, что имеет значение», — говорил он. И перечислял разные варианты перехода от простого счета к сложению. Ребенок может, например, объединить предметы в две группы и просто вычислить результат: 5 уточек плюс 3 уточки равно 8 уточек. А может пересчитать на пальцах или в уме: 6, 7, 8. Или выучить наизусть

стандартные комбинации. Большие числа складываются разбивкой на группы: монетки распределяются по кучкам, пять штук в каждой, а потом считается количество кучек. Можно отметить числа в виде отрезков на линии и сосчитать промежутки — этот метод особенно полезен для понимания системы измерений и дробей. Для чисел больше 10 применяется сложение в столбик.

Фейнман считал, что содержанию учебников не хватает гибкости. Пример 29 + 3 считался задачей для учеников третьего класса, так как при вычислении требовалось совершить перенос — якобы сложное действие. Но Фейнман заметил, что любой первоклассник может прийти к верному ответу, просто посчитав в уме: 30, 31, 32. Почему малышам нельзя давать элементарные задачки по алгебре ($2x + 3 = 7$)? Почему не поощрять их к поиску решения методом проб и ошибок? Ведь именно так работают ученые.

«Мы должны преодолеть ограниченность мышления и дать возможность уму свободно блуждать, исследуя проблему… Хороший математик, по сути, изобретает новые варианты получения ответа той или иной задачи. Даже если методика общеизвестна, ученому обычно намного проще придумать свой способ — новый или старый — чем идти хорошо известным путем».

Куча разных уловок и приемов гораздо лучше одного ортодоксального метода. Этому Фейнман учил своих детей, помогая им делать домашние задания. Мишель узнала, что у ее отца тысяча таких уловок; также она узнала, что школьные учителя арифметики не любят подобную самодеятельность.

Думаете, вы будете жить вечно?

Ричард не любил спорт, однако старался поддерживать себя в форме. Споткнувшись о край тротуара в Чикаго, он получил перелом коленной чашечки, после чего занялся бегом и почти ежедневно совершал пробежки по крутым тропинкам над своим домом в холмах Альтадены. У него был гидрокостюм, и во время отдыха в Мексике (в том самом пляжном домике, купленном на деньги с Нобелевской премии) он часто и помногу плавал. Когда они с Гвинет впервые приехали туда, дом был похож на развалюху. Ричард сказал, что не хочет его покупать. А она взглянула на застекленную стену, которая выходила к теплому океану, и ответила: «Да нет же, хочешь».

Летом 1977 года Фейнманы отправились в швейцарские Альпы. Войдя в дом, Ричард бросился в ванную, охваченный внезапным приступом рвоты, — раньше с ним такого не случалось. Гвинет была напугана. В тот же день на канатной дороге он потерял сознание. В том году врач дважды ставил ему диагноз «лихорадка невыясненной этиологии». Рак обнаружили лишь в октябре 1978 года; к тому времени опухоль в задней части брюшной полости разрослась до размеров дыни и весила три килограмма. В положении стоя выпуклость в районе талии была видна невооруженным глазом. Ричард слишком долго игнорировал симптомы. Ему было не до этого: всего несколько месяцев назад операцию по удалению злокачественного новообразования перенесла Гвинет.

Опухоль сместила его кишечник вбок и разрушила левую почку, левый надпочечник и селезенку. Выяснилось, что он страдал миксоидной липосаркомой — редкой разновидностью рака мягких жировых и соединительных тканей. После сложной операции Фейнман выписался из больницы, похудевший, и принялся штудировать медицинскую литературу. В оценках вероятного развития болезни недостатка не было: имелись высокие шансы рецидива, хотя его рак вроде бы купировали. Он прочел несколько историй болезни — у всех пациентов опухоль была меньше, чем у него. «Зарегистрировано до 11 % случаев, когда больные прожили пять лет после операции; есть данные о 41 % вероятности такого исхода», — говорилось в одном научном журнале. Десять лет не прожил почти никто.

Он вернулся к работе. Один из его юных друзей написал о нем шутливое стихотворение:

Вы уже старик, папаша Фейнман,

С яркой сединою в волосах.
Но, как раньше, брызжете идеями,
И это в ваши годы, вот так страх!
«В юные года, — ответил мастер,
Встряхивая длинными кудрями, —
Был я к рисованию пристрастен
И придумал эти диаграммы;
Кто-то счел их мыслью гениальной,
Кто-то — просто методом удобным». —
«Да, я знаю, — юноша печальный
Оборвал учителя беззлобно. —
Было время, ваши размышленья
Были и мудры, и безупречны.
Но при всем моем к вам уважении,
Думаете, вы будете жить вечно?»

Физики более молодого поколения, включая Гелл-Манна, уже отошли от передовых исследований, в то время как Фейнман обратил свой взор к проблемам квантовой хромодинамики, которая представляла собой новейший синтез теорий поля и получила такое название из-за понятия цветового заряда кварков, занимавшего в ней центральное место. Вместе со студентом постдокторантуры Ричардом Филдом он изучал высокоэнергетические характеристики кварковых струй. Другие теоретики пришли к выводу, что кварки никогда не наблюдаются в свободном состоянии, так как их удерживает сила, не похожая ни на одну из тех, что известны физике. Большинство сил, например гравитация и электромагнетизм, ослабевали с увеличением расстояния. Очевидно, это правило должно было действовать всегда, но с кварками дело обстояло иначе. Когда они находились близко друг к другу, сила между ними была ничтожно мала, но по мере увеличения дистанции она многократно возрастала. Струи в понимании Фейнмана и Филда были побочным продуктом. При высоких энергиях столкновения кварк не успевал освободиться от сдерживающей силы; она становилась столь велика, что приводила к образованию новых частиц, которые рождались из вакуума. При этом возникала вспышка, направленная в ту же сторону, — струя.

Поначалу они встречались раз в неделю. Фейнман не знал, что Филд посвящал почти все свободное время подготовке к этим встречам. Их работа имела вид прогнозов, сформулированных хорошо понятным экспериментаторам языком. Это была не отвлеченная теория, а реалистичное пособие, описывающее

конкретный результат. Фейнман настаивал, что расчеты необходимо произвести лишь для тех экспериментов, которые еще не поставлены, иначе они с Филдом не смогут себе доверять. Постепенно они пришли к выводу, что опережают экспериментаторов на несколько месяцев, создавая для них полезную теоретическую базу. Появились ускорители, работавшие на еще более высоких энергиях, и в них обнаружились струи, описанные Фейнманом и Филдом.

Тем временем физики-теоретики продолжали биться с понятием конфайнмента кварков. Действительно ли кварки удерживаются всегда, в любых обстоятельствах? Является ли конфайнмент естественным следствием теории? Виктор Вайскопф попросил Фейнмана заняться разработками в этой сфере, заметив, что не находит в научной литературе ничего, кроме математических формул. «Я не могу вникнуть в физический смысл всех этих понятий. Почему бы тебе за них не взяться? Только ты сможешь выяснить причины удержания кварков». Впервые Фейнман подступился к этой проблеме в 1981 году: он попытался решить ее аналитически с помощью двух игрушечных двухмерных моделей. Квантовая хромодинамика, отмечал он, стала теорией настолько внутренне сложной, что даже самые мощные суперкомпьютеры не способны сделать конкретные прогнозы, сопоставимые с результатами экспериментов. «Квантовая хромодинамика, в которой выделяются шесть ароматов кварков и три цвета, каждому из которых соответствует четырехкомпонентный дираковский спинор, и восемь четырехвекторных глюонов — это теория амплитуд для конфигураций, каждая из которых включает 104 числа в одной точке пространства и времени, — писал он. — Качественно визуализировать эту схему очень непросто». Он попытался убрать одно измерение, но зашел в тупик. Тем не менее подход Фейнмана оказался настолько оригинальным, что ученые продолжали читать его работу еще долго после того, как сами пришли к более точным выводам.

В сентябре 1981 года случился рецидив опухоли. На этот раз она обвила кишечник. Врачи попробовали применить комбинацию доксорубицина, радиационной и тепловой терапии. Облучение истончило ткани организма. Потом ему сделали вторую серьезную операцию; она длилась четырнадцать с половиной часов и осложнилась «сосудистым инцидентом» — под этим эвфемизмом подразумевался разрыв аорты. В Калтехе и Лаборатории реактивного движения объявили срочный розыск доноров, и те выстроились в очередь. Фейнману понадобилось тридцать семь литров крови. Когда после переливания президент

Калтеха Мервин Голдбергер вошел к нему в палату, Фейнман приветствовал его словами: «Даже сейчас я не хотел бы оказаться на твоем месте» — и добавил, что по-прежнему не будет выполнять его распоряжений. Он развлекал своих посетителей новыми анекдотами, хотя явно мучился от боли. Перед операцией хирург Дональд Мортон из Медицинского центра Калифорнийского университета Лос-Анджелеса вошел к нему со свитой врачей-резидентов и медсестер. Фейнман спросил, какие у него шансы. «Невозможно оценить вероятность единичного события», — сказал хирург, а Фейнман ответил: «Как один профессор другому, скажу вам, что это возможно, если речь идет о событии, которое еще не произошло».

В те годы физический факультет Калтеха сильно потерял в статусе. Сюда по-прежнему стягивались толпы неординарных юношей — умных, наивных и неуклюжих, каждый из которых воображал, что уже на первом-втором курсе им будут читать физику для аспирантов. Но лучшие выпускники уходили работать в другие места. Правда, коллоквиумы по физике по-прежнему проводились; Фейнман обычно сидел в первом ряду и как магнит притягивал к себе любое обсуждение. При этом он мог быть как смешным, так и безжалостным. Однажды довел ничего не подозревавшего выступающего до слез. Шокировал коллег, разнеся в пух и прах старенького Вернера Гейзенберга; после его разноса молодой специалист по теории относительности Кип Торн[168] даже заболел. Физикам старшего поколения он напоминал Паули с его *ganz falsch!* Первопроходец в области искусственного интеллекта Дуглас Хофштадтер как-то выступил с интересной лекцией о коварстве аналогии. Он попросил слушателей назвать первую леди Англии, ожидая услышать имя Маргарет Тэтчер или королевы Елизаветы. «Моя жена», — раздался ответ с первого ряда. «Но почему?» — «Она англичанка, и она лучше всех». На протяжении всей лекции Хофштадтеру казалось, что Фейнман подкалывает его, прикидываясь деревенским дурачком.

Фейнмана по-прежнему считали великим ученым, но центр тяжести в физике элементарных частиц снова сместился к востоку — в Гарвард, Принстон и другие университеты. Объединение теорий электромагнетизма и слабых взаимодействий[169] привело к появлению калибровочных теорий, и сильное взаимодействие вскоре тоже стало возможно привести к общему квантово-хромодинамическому знаменателю. С возрождением квантовой теории физики вновь оценили эффективность фейнмановских интегралов по траекториям — ведь без них нельзя было квантовать калибровочные теории. Теперь открытие Фейнмана

воспринимали не только как полезный инструмент, но и как организующий принцип, которому подвластны глубочайшие уровни природы. Однако сам он не стремился опробовать на деле новые возможности применения интегралов по траекториям. На передовой оказались такие ученые, как Стивен Вайнберг, Абдус Салам, Шелдон Глэшоу и их более юные коллеги, которые уже не считали Фейнмана и Гелл-Манна центральными фигурами квантовой науки. Физиков Калтеха тревожило то, что их кафедра утратила былой статус, и иногда они винили в этом Фейнмана и Гелл-Манна: первого — за то, что не уделял должного внимания кадрам, второго — за то, что уделял им слишком много внимания.

С момента своего возвращения в физику высоких энергий с партонной моделью Фейнман изо всех сил сопротивлялся присвоению ему статусов «серого кардинала» и «свадебного генерала». В 1974 году на стандартную анкету департамента он ответил меморандумом, состоявшим из одного предложения: «В этом году в ходе своих исследований я не достиг ровным счетом ничего!» Через два года Сидни Коулман внес его в список участников конференции по квантовой теории поля, спонсором которой выступил фонд «ЭСТ-тренинг» Вернера Эрхарда — Фейнман резко высказался по поводу целесообразности своего участия в качестве хоть аутсайдера, хоть инсайдера, говоря о себе в третьем лице в духе Граучо Маркса:

«А на кой черт позвали Фейнмана? Насколько я знаю, он ничего не делает и в подметки не годится другим ребятам. Отредактируйте свой список, оставьте только тех, кто трудится не покладая рук, и тогда я подумаю, приезжать на вашу конференцию или нет».

Коулман послушался и удалил его имя из списка; Фейнман приехал на конференцию.

Его не смущало, что конференция спонсируется ЭСТ-тренингами — семинарами по саморазвитию в духе 1960-х; по сути, это была большая афера, а их учредители использовали псевдонаучный жаргон, который Фейнман презирал. «Еще одно свидетельство того, что мы живем в золотой век глупости», — говорил Коулман. Организацию Эрхарда и прочие подобные институты, появившиеся после 1960-х, квантовая теория привлекала своим «мистицизмом» (точнее, это им она ошибочно казалась мистической). По их мнению, она напоминала восточные религии и была гораздо интереснее старомодного представления о том, что объект является тем, чем кажется. С закатом эпохи хиппи подобные организации всеми силами пытались удержаться на плаву и стать долгоиграющими бизнес-предприятиями, а

сотрудничество с представителями мира квантовой физики добавляло респектабельности. Фейнмана же интересовал Эрхард и прочие «невежды» (так окрестила его новых друзей Гвинет) отчасти из-за того, что ему самому всегда были свойственны любознательность и нонкомформизм. Так молодежные течения 60-х настигли его в 70-е: это был стиль, который он всегда считал своим — неформальный, приземленный взгляд на мир, то, что они с Карлом называли между собой личиной «агрессивного простачка». Фейнман отрастил седеющие волосы и заинтересовался интроспективной психологией и самоанализом — это при его-то презрительном отношении к классической философии, которая, как он считал, неправильно использовала формулировки и методы экспериментальной науки! Он подружился не только с Вернером Эрхардом, но и с Джоном Лилли, любителем дельфинов и камер сенсорной депривации. Несмотря на попытки игнорировать «мистическую дребедень» Лилли, Ричард все же согласился на эксперимент с камерой в надежде, что у него возникнут галлюцинации (очевидно, им двигали те же побуждения, что и сорок лет назад, когда он пытался наблюдать за собой во сне). Он все время думал о смерти. Пытался извлечь из памяти свои самые ранние детские воспоминания. Попробовал марихуану и (в этом ему было стыдно признаваться) ЛСД. Терпеливо слушал, как Баба Рам Дасс — бывший гарвардский профессор Ричард Альперт, автор культовой книги «Быть здесь и сейчас» — рассказывал ему о том, как пережить внетелесный опыт. Он даже попробовал выйти из тела, ни на минуту не веря в мистическую подоплеку этого «опыта», а просто ради интереса и забавы. Ему лишь хотелось представить, каково это, когда твое «я» плавает за пределами комнаты и твоего шестидесятипятилетнего тела, которое так предательски с тобой обходится.

Физики редко становились хиппи: слишком велика была их роль в формировании сознания, поклоняющегося технологиям, особенно в части ядерных разработок, которому противопоставляла себя неформальная контркультура. Рассказывая о своем участии в Манхэттенском проекте, Фейнман теперь все чаще вспоминал, как взламывал сейфы и издевался над цензорами, выставляя себя бунтарем, а не амбициозным, эффективным лидером группы ученых. Решения тогда принимали другие — «люди из высших эшелонов», сказал он перед выступлением в Санта-Барбаре в 1975 году. «Мне не приходилось решать сколько-нибудь серьезных вопросов. Это всегда делал кто-то сверху». Едва ли он мог причислить себя к противникам технологий; не был он и врагом того, что теперь называлось

военно-промышленным комплексом (несмотря на свою неприязнь к научной бюрократии). За все время работы в Калтехе он не подписал ни одного прошения о грантах, которые направлялись в федеральные агентства по финансированию, а ведь именно благодаря таким грантам существовала кафедра физики. И все же, выйдя из камеры сенсорной депривации, он смывал с себя соль, одевался и ехал в авиакомпанию Hughes Aircraft, к подрядчику Минобороны, где читал лекции по физике. Он перестал четко планировать время и лишь иногда проводил консультации в разных компаниях; так, он посоветовал руководству Hughes Aircraft запустить проект нейросети, спонсируемый Министерством обороны, а инженерам компании 3M дал рекомендации относительно нелинейных оптических материалов. За консультацию продолжительностью менее четырех часов он получал пятнадцать тысяч долларов. Это были случайные заработки, которые он выбирал, не особенно раздумывая. Многие его коллеги, работавшие консультантами, тщательно планировали свой распорядок и получали намного больше. А клиенты Фейнмана зачастую бывали рады всего лишь знакомству с ним; его личность приводила их в больший восторг, чем любые технические рекомендации. Он знал, что бизнесмен из него никудышный. Как и Гелл-Манн, он был самым высокооплачиваемым профессором Калтеха, но институт оформил на себя все роялти с «Фейнмановских лекций по физике». Однажды его старый друг Филип Моррисон прислал ему рекламу «Семнадцати великих лекций двух гигантов физики» производства компании Time Life Films. Фейнман спросил, получает ли Моррисон роялти, а потом сказал: «Я не получаю. Не иначе как гиганты физики — карлики бизнеса».

Его любимым местом отдыха в начале 1980-х стал Институт Эсален в Биг-Суре на побережье Калифорнии — центр разнообразных практик самоактуализации, саморазвития и самореализации, таких как рольфинг, гештальт-терапия, йога, медитация. Под гигантскими деревьями на утесах с видом на Тихий океан были оборудованы горячие ванны, подпитываемые природными серными источниками. Многочисленные гости могли релаксировать здесь за внушительную плату — получать «смазку для ума», по выражению Тома Вулфа. Фейнман описывал центр как рассадник антинауки: здесь царил «мистицизм, практиковалось расширение сознания, развитие осознанности, экстрасенсорного восприятия и так далее, и тому подобное». Он стал регулярным посетителем Эсалена. Расслаблялся в горячих ваннах, с улыбкой разглядывал полуобнаженных молодых женщин, которые загорали неподалеку,

научился делать массаж. Прочел несколько стандартных лекций, адаптировав их под ментальное состояние аудитории. Босой, с худыми ногами, торчащими из шорт защитного цвета, он начинал свой захватывающий рассказ:

«Разговор пойдет о том, насколько микроскопической может быть машина. Вот наша сегодняшняя тема. Пока я сидел здесь в ванне, ко мне обращались с вопросами: “Крошечные машины? Что это вообще такое?” А я отвечал: “Ну, понимаете, они совсем малюсенькие”. (Зажимает невидимый предмет между большим и указательным пальцем.) Но меня все равно не поняли. (Пауза.)

Я говорю об очень-очень-очень маленьких машинках. Понимаете?»

По мере того как он продолжал, кто-то периодически вскрикивал: «А, понятно!» Когда наставало время вопросов и ответов, речь неизбежно заходила о приборах для преодоления гравитации, об антиматерии, путешествиях со скоростью выше световой — если не в физическом, то в духовном смысле. Фейнман всегда отвечал с логической точки зрения, объясняя, что путешествия со скоростью выше световой невозможны, антиматерия существует, а изобретение устройств, преодолевающих гравитацию, маловероятно: «Так что эти подушки и пол, на котором вы сидите, еще долго никуда не денутся». Несколько лет он вел подобные семинары по «нестандартному мышлению». В каталоге Эсалена их рекламировали как путь к «спокойствию ума и возможность наслаждаться противоречиями жизни». «Приносите ударные инструменты», — было приписано в самом низу.

Поздней весной 1984 года Ричард поехал в Пасадену за одним из первых персональных компьютеров IBM, взволнованно выскочил из машины, поскользнулся на тротуаре и ударился головой об угол здания. Прохожий, остановившийся ему помочь, сказал, что рана серьезная, вытекло много крови и надо бы поехать в больницу наложить швы. Несколько дней после этого у Фейнмана кружилась голова, но он уверял себя, что всё в порядке.

Через некоторое время Гвинет стала замечать, что муж ведет себя странно. Он просыпался среди ночи и бродил по комнате Мишель. Однажды сорок пять минут не мог найти машину, припаркованную во дворе. В доме модели, которую он рисовал, вдруг разделся и лег спать; женщина встревоженно напомнила, что это ее дом. Наконец, во время одной из лекций он внезапно осознал, что говорит бессмысленную чепуху, замолчал, извинился и вышел из аудитории.

Сканирование мозга выявило массивную субдуральную

гематому, которая медленно кровоточила, оказывая сильное давление на мозговую ткань. Врачи немедленно отправили его в операционную и провели стандартную процедуру — просверлили два отверстия в черепе для оттока жидкости. Ранним утром следующего дня Гвинет с облегчением обнаружила, что Ричард может сидеть и нормально говорить. Предыдущие три недели выпали у него из памяти. Позже ему сделали повторное сканирование, чтобы исключить возможность рецидива. Проводивший процедуру специалист не удержался и внимательно рассмотрел поразительно детальное изображение фейнмановского мозга: извилины серого вещества, тугие пучки нервных волокон. «Но вы же не видите, о чем я думаю», — заметил Фейнман. Врач искал хоть какие-нибудь признаки того, что мозг ученого отличается от мозга других шестидесятипятилетних пациентов. Может быть, кровеносные сосуды шире? Он не был уверен.

Вы, конечно, шутите

Фейнман начал задумываться об автобиографии после того, как получил Нобелевскую премию. Тогда к нему стали приходить историки с просьбой рассказать о себе; они относились к его заметкам как к важным артефактам, слишком ценным, чтобы сваливать их в коробки или забрасывать на полки в кабинете, который он обустроил в подвале дома. На тех же полках стояла «Арифметика для практичного человека» — реликвия его детства. Он все еще хранил свои юношеские тетради, которые посылал Велтону во время их совместной работы над переосмыслением старой квантовой механики. Гости, бравшие у него интервью, включали магнитофоны и записывали каждое слово его историй — тех самых, которыми он развлекал друзей на протяжении десятков лет.

Интервью, которое Фейнман после долгих уговоров дал историку из МТИ Чарльзу Вайнеру, стало самым подробным и серьезным из всех. (Одно время он даже подумывал привлечь Вайнера к работе над своей биографией.) Они сидели в огороженном патио на заднем дворе у Фейнманов; неподалеку в домике на дереве играл Карл. Фейнман не только рассказывал истории, но и наглядно их иллюстрировал. «Так, засеките время, — сказал он Вайнеру, и после разговора, длившегося восемь минут и сорок две секунды, остановился и произнес: — Восемь минут сорок две секунды». Прошел не один час, прежде чем они разговорились и перешли на личные темы. Фейнман порылся в коробке и достал фотографию Арлин, на которой она была изображена почти обнаженная, в одном прозрачном белье. Он заплакал. Вайнер выключил магнитофон; какое-то время они сидели молча. Даже по прошествии стольких лет Фейнман почти ни с кем не делился этими воспоминаниями.

Он начал проставлять даты на научных записях, хотя раньше никогда этого не делал. Вайнер однажды заметил, что его новые записи по партонам представляют собой «хронику ежедневной работы», на что Фейнман резко возразил.

— Но я именно так и работаю — записывая все на бумаге, — ответил он.

— То есть сначала вы размышляете над проблемой, — уточнил Вайнер, — а затем фиксируете результат в виде отчета.

— Да нет же, это не отчет, а отражение рабочего процесса. Я *работаю на бумаге*, и вот мои записи. Понимаете? — Он действительно делал очень много заметок, записывая бесконечные вереницы мыслей, которые можно было

использовать как готовые конспекты лекций.

Он сказал Вайнеру, что еще не встречал ни одной научной биографии, которая бы ему понравилась. Фейнман опасался предстать в собственном жизнеописании бледным интеллектуалом или клоуном, играющим на бонго. Он долго сомневался, нужно ли сотрудничать с Вайнером, и наконец отказался от этой идеи. Он продолжал давать интервью историкам науки, интересующимся годами, которые он провел в Фар-Рокуэй и Лос-Аламосе, и заполнять анкеты для психологов, изучающих творческий процесс. («Сопровождается ли ваша работа над решением научной задачи чем-то из предложенного списка?» Он отметил галочкой «визуальные образы», «кинестетические ощущения» и «эмоциональные переживания», а также приписал от руки «акустические образы» и «разговоры с самим собой». В графе «Страдаете ли вы серьезными заболеваниями?» он написал: «Слишком много перечислять… Единственный неприятный побочный эффект — лень в период выздоровления».)

На протяжении нескольких лет он играл на барабанах с молодым приятелем Ральфом Лейтоном — сыном коллеги из Калтеха. Лейтон начал записывать их репетиции, а впоследствии и рассказы Фейнмана. Ральф называл его шефом и умолял повторить ту или иную историю. И Фейнман в очередной раз рассказывал: как в Фар-Рокуэй он пользовался славой мальчика, который чинит радио силой мысли; как он попросил у библиотекаря в Принстоне показать ему карту кошки; как отец учил его уловкам цирковых экстрасенсов; как он не раз оставлял в дураках художников, математиков, философов и психиатров. Иногда он просто размышлял, а Лейтон слушал. «Сегодня я был в Хантингтонской медицинской библиотеке, — сказал он однажды. У него возникли проблемы с единственной оставшейся почкой. — Интересно все-таки, как работает почка, да и все остальное тоже. Хочешь, расскажу кое-что любопытное? Эта чертова почка — просто самая безумная штука в мире!»

Постепенно из этих бесед сложилась книга. Лейтон расшифровал пленки и отдал записи Фейнману на редактирование. Оказалось, у каждой истории имелась четкая структура; Лейтон понял, что с годами Фейнман отшлифовал свои импровизации до совершенства и знал, в каком месте его слушатели начнут смеяться. Они ответственно проработали ключевые темы. Фейнман рассказал о том, как однажды Арлин смутила его, подарив коробку карандашей с вырезанной на них надписью «Ричард, я люблю тебя! Путси».

Ричард: И на следующее же утро, представляете — на следующее утро в почтовом ящике нахожу письмо, нет, открытку,

которая начинается со слов: «И кому только пришло в голову вырезать свое имя на карандашах?»

Ральф: (смеется) Ого! (опять смеется)

Ричард: «Не все ли равно, что подумают люди?»

Ральф: О, вот это… Это очень хорошая тема.

Ричард: Хм?

Ральф: Да, хорошая тема, чтобы ее развить. Важно ли, что подумают люди.

Главный персонаж у них получался просто невероятный — ученый, который гордился не своими научными достижениями (они оставались далеко на заднем плане), а жизненной мудростью и способностью видеть обман и притворство. Фейнман подчеркивал эти качества с преувеличенной скромностью, делающей его похожим на мальчика, который называет взрослых «мистер» и «миссис» и задает вежливые, но каверзные вопросы. Он был Холденом Колфилдом[170], резал правду-матку и искренне пытался понять, почему в мире так много дураков.

«Напыщенные идиоты — люди, которые на самом деле тупы, но прикрывают свою тупость всякими фокусами, пытаясь произвести впечатление и показать, какие они замечательные, — вот таких людей я не выношу! Обычный идиот не притворяется; честный идиот — это еще ничего. Но дурак, который притворяется умным, — вот это ужасно!»

Из всех своих историй он больше всего любил повседневные ситуации, в которых ему удавалось остроумно пошутить. Например, историю о том, как он опоздал на собрание экспертов по теории относительности, проходившее в Северной Каролине, и сумел выяснить нужный адрес:

«Смотрите, — сказал я диспетчеру такси в аэропорту, — собрание началось вчера, значит, вчера тут было очень много наших. Позвольте их описать: вид у них слегка рассеянный, они разговаривают друг с другом, не глядя, куда идут, и произносят что-то вроде: “Г-му-ну. Г-му-ну”.

Лицо диспетчера просветлело. «Ах да! — воскликнул он. — Эти поехали в Чэпел-Хилл!»

В качестве названия для своей автобиографии Фейнман выбрал случайную фразу, произнесенную миссис Эйзенхарт на его первом чаепитии в Принстоне, когда он попросил передать ему и сливки, и лимон: «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» Эти слова крутились у него в голове сорок лет, напоминая о том, как часто окружающие пытались подчеркнуть свое превосходство, указывая на его «бескультурность» и отсутствие манер. Теперь он мог им отомстить. Рукопись была куплена издательством W. W. Norton and Company. Фейнману выплатили аванс в полторы

тысячи долларов — крошечная сумма за коммерческую книгу. Правда, сотрудникам издательства не понравилось название, выбранное автором. Они предложили озаглавить книгу «Я должен понять мир» или «Есть идея» («Хорошо, когда в названии двойной смысл», — сказал редактор). Но Фейнман не согласился. Первый небольшой тираж автобиографии вышел в начале 1985 года. Он разошелся мгновенно, и на руках у издателя оказался неожиданный бестселлер.

Одним из тех, кто остался недоволен книгой, был Мюррей Гелл-Манн. Его внимание привлек фрагмент, в котором Фейнман описывал открытие «нового закона» слабых взаимодействий в 1957 году и свой восторг по этому поводу: «Первый и единственный раз за всю карьеру я постиг закон природы, доселе никому не известный». Ярость Гелл-Манна сотрясала коридоры лаборатории Лауритцена; он заявил, что подаст на Фейнмана в суд. В последующих изданиях книги Фейнман добавил примечание в скобках: «Конечно, я ошибался; но моя радость не стала меньше после того, как я узнал, что одновременно со мной ту же теорию разрабатывали Мюррей Гелл-Манн, Сударшан и Маршак».

Гелл-Манн был не единственным, кого возмутила книга. В автобиографии Фейнман в свойственной ему манере отзывался о женщинах: «симпатичная блондиночка, идеально сложенная», «довольно толстая молодуха, как на травяном откорме». В его воспоминаниях проходила череда женщин: объекты флирта, модели, которых он рисовал «ню», девочки из бара, которых заманивал в постель; при этом он не особенно выбирал выражения. Проблемы с гендерной политикой возникали у Фейнмана и раньше — например, в 1972 году на конференции Американского физического общества в Сан-Франциско, где ему вручили медаль Эрстеда за вклад в преподавание физики. Его личная жизнь была тут ни при чем, хотя в мужском мире Калтеха он считался звездой и вызывал зависть у студентов отчасти из-за своего успеха у женщин. Он по-прежнему флиртовал с девушками на вечеринках и пользовался славой донжуана. Он стал завсегдатаем одного из первых калифорнийских топлес-баров «Джанонни», где исписывал уравнениями бумажные салфетки с орнаментом в виде чешуи; в 1968 году он даже дал показания в пользу бара в суде, вызвав удивление местной прессы. Юноши-аспиранты поклонялись ему как герою, и это было утверждением истинно мужского начала.

Осенью 1971 года Фейнман получил письмо, в котором говорилось, что его манера выражаться «поддерживает сексистские и шовинистские идеи». Ему припомнили анекдоты,

которые он любил рассказывать. Например, об ученом, который «пошел на свидание с девушкой на следующий вечер после того, как понял, что в звездах происходят ядерные реакции. Она говорит: “Смотри, как чудесно светят звезды!” А он отвечает: “Да, и в данный момент я единственный человек во Вселенной, который знает, *почему* они светят”».

Автор письма, некий (или некая?) Э. В. Ротштейн, приводил еще один пример — анекдот про женщину за рулем — и просил не дискриминировать женщин в науке. В ответ Фейнман решил не церемониться.

«Дорогой Ротштейн, — написал он, — отстаньте! Р. Ф. Фейнман».

В результате на конференции Американского физического сообщества группа женщин из Беркли устроила демонстрацию: они несли транспаранты и раздавали брошюры, озаглавленные «Тест на рецепторы прогестерона» и адресованные «Ричарду Ф. (сокращенное от “фуфло”) Фейнману».

Хотя в 1960-е женское движение стало набирать обороты, наука оставалась территорией, закрытой для женщин. Численное превосходство сохранялось за мужчинами; они доминировали и в научной риторике. На женщин приходилось менее двух процентов дипломов физических факультетов, выданных по всей стране. Калтех нанял первую женщину-преподавателя лишь в 1969 году, причем в штат ее взяли только в 1976 году, после того как она добилась этого через суд. (К удивлению и недовольству некоторых своих коллег, Фейнман встал на ее сторону; он провел с ней в кабинете немало приятных часов, декламируя стихи наподобие «Я женщину знавал…» Теодора Рётке: «Волненьем тела время измеряю…»). Как и у большинства физиков, у Фейнмана было немного коллег женского пола. Он считал, что относится к ним как к равным, и они с этим соглашались. Какие еще к нему могли быть претензии?

Демонстранты из Беркли откопали его анекдоты о женщинах за рулем, но упустили из виду другие рассуждения, в которых, как правило, ученый был мужского пола, а природа, ожидающая *проникновения* в ее тайны, — женского. В своей нобелевской лекции Фейнман вспоминал, как влюбился в свою теорию: «Подобно тому, как мы увлекаемся женщиной, если не знаем о ней слишком много, не видим ее недостатков». И заключал: «Что же произошло с той теорией, в которую я влюбился в молодости? Она превратилась в старушку, утратившую свою былую привлекательность; теперь при виде ее сердц*а* молодых не замирают, как прежде. Но о ней, как и о любой старушке, можно сказать много хорошего: она была отличной матерью и родила

много прекрасных детей».

В 1965 году, когда он произносил эту речь перед большой аудиторией, состоявшей из мужчин и женщин, никто не счел ее оскорбительной и не услышал в ней политического подтекста. В 1972 году на злосчастной конференции Фейнману удалось разрядить обстановку, когда он поднялся на кафедру и заявил: «В наши дни в мире физики существует предвзятое отношение к женщинам. Это абсурд, и от таких бессмысленных предубеждений нужно избавляться. Я люблю физику и всегда желал лишь одного — разделить радость научного познания с другими людьми, которые способны ее понять, неважно, мужчины они или женщины». Этим словам зааплодировали многие участницы заседания. Однако в 1985 году некоторые феминистки снова провозгласили его символом мужского господства в физике. В реальной жизни все было сложнее: одна из преподавательниц Калтеха, вполне себе здравомыслящий профессионал, втайне призналась едва знакомому человеку, что Фейнман даже в шестьдесят лет остается самым сексуальным мужчиной, которого она знала за всю свою жизнь. Жены его коллег злились на мужей за то, что те обожают Фейнмана и не замечают его недостатков. А между тем статус женщин в физике оставался практически неизменным.

Кроме того, как бы он ни храбрился, но его задевала критика, периодически раздававшаяся в адрес «Вы, конечно, шутите». Фейнман понимал, что некоторые физики, знавшие его с юности, были разочарованы представленным в книге автопортретом, изображающим больше шутника, чем ученого. Мемуары обидели и шокировали многих его старых друзей одного поколения с Хансом Бете, хотя тем нравилось почти дословно повторять фейнмановские истории о себе, как будто они сами их придумали, — настолько глубоко отпечатывался в сознании людей голос Фейнмана. Другие, напротив, увидели в книге все то, за что его так любили. Филип Моррисон писал в журнале «Научный американец»: «Как правило, мистер Фейнман не шутит; шутим мы, те, кто придумывает ритуалы и лицемерные стандарты и делает вид, что нам не все равно. Это рассказ об очень умном человеке, который прежде всего честен и способен называть вещи своими именами». Фейнман укорял тех, кто называл книгу его автобиографией. На полях одной черновой рукописи, посвященной истории современной физики частиц, он написал: «Не автобиография. Нет. Просто сборник анекдотов». А прочитав фразу, в которой автор описал его как «на удивление трагичного шутника» (речь шла о периоде Лос-Аламоса), он гневно нацарапал сбоку: «Едва ли вы когда-нибудь поймете, кем я на

самом деле был в тех обстоятельствах».

Технологическая катастрофа

В 1958 году, не прошло и четырех месяцев с момента запуска первого в мире спутника, американцы вступили в соревнование, названное впоследствии космической гонкой. 31 января с мыса Канаверал во Флориде стартовал первый спутник из серии «Эксплорер». Он весил не больше дорожной сумки, а на орбиту его вывела четырехступенчатая ракета «Юпитер-С», которая была надежнее военно-морских ракет «Авангард», взрывавшихся при взлете. «Эксплорер-1», как и советский спутник, посылал на Землю радиосигналы.

Через пять месяцев за ним последовал «Эксплорер-2». На этот раз на борту разместили детектор космических лучей, что увеличило массу спутника до 14,5 килограмма. За процессом запуска следила команда военных под начальством Вернера фон Брауна, матерого ветерана нацистской ракетной программы в Пенемюнде. Аппарат воспарил к небесам и скрылся в облаках. Рокот двигателя затих; его сменил нарастающий радиосигнал спутника, транслирующийся на приемник. Казалось, все идет по плану. Через полчаса после запуска уверенные в успехе военные провели брифинг для прессы.

Тем временем в другой части континента, в Лаборатории реактивного движения в Пасадене, служившей для армии главной базой ракетных исследований, команда ученых пыталась отследить траекторию движения спутника. Они использовали компьютер IBM 704 — капризное устройство, занимавшее целую комнату. Для наблюдения за перемещением в небе жестянки, которую толкала вперед военная ракета, они вводили имеющиеся у них скудные данные: частоту радиосигнала, которая ввиду эффекта Допплера варьировалась в зависимости от изменения скорости полета; время исчезновения с экранов радаров на мысе Канаверал; сведения, полученные со станций слежения. Сотрудники лаборатории знали, что малейшая неточность в данных при вводе влекла за собой огромные разночтения на выходе. Глава исследовательского отдела лаборатории, молодой ученый Альберт Хиббс, пожаловался на эту проблему своему бывшему научному куратору из Калтеха. Им оказался Фейнман.

Фейнман поспорил, что сможет вычислить результат быстрее компьютера, если ему будут предоставлять те же сведения в то же время. В 13:28, когда «Эксплорер-2» оторвался от взлетной площадки, Фейнман сидел в конференц-зале Лаборатории реактивного движения в окружении штатных сотрудников, спешно сортировавших данные для компьютера. В зал вошел

тогдашний президент Калтеха Ли Дюбридж; он замер от изумления, увидев там Фейнмана (а тот лишь огрызнулся: «Уходите, я занят»). Через полчаса работы Фейнман заявил, что, согласно его расчетам, ракета упала в Атлантический океан. Встал и уехал на выходные в Лас-Вегас. Тем временем в лаборатории все еще пытались получить из компьютера четкие данные. Сотрудники станций слежения на Антигуа и в Иньокерне убеждали себя, что слышали на фоне шумов сигнал вышедшего на орбиту спутника, а команды наблюдателей во Флориде ночь напролет вглядывались в небо. Но Фейнман оказался прав. В пять часов вечера на следующий день военные наконец объявили, что «Эксплорер-2» не вышел на орбиту.

Двадцать восемь лет спустя, 28 января 1986 года, космический шаттл «Челленджер» оторвался от стартовой площадки и устремился в небо. Через полсекунды после старта из боковой части ракеты с твердым топливом вырвалось облако серого дыма. До этого запуск откладывали четыре раза. Как всегда бывает при взлете, ускорение, во много раз превосходящее ускорение свободного падения *g*, вжало космонавтов в кресла. В состав экипажа входили: командир Фрэнсис Скоби, пилот Майкл Смит, научные специалисты миссии Эллисон Онидзука, Джудит Резник и Рональд Макнейр; инженер компании Hughes Aircraft Грегори Джарвис и учительница из Новой Англии Криста Маколифф, победительница программы «Учитель в космосе» (общественная программа НАСА, призванная стимулировать интерес детей и конгрессменов к космическим исследованиям). В грузовом отсеке, в котором с легкостью поместилась бы ракета «Юпитер-С» из 1950-х, находились пара спутников, оборудование для проведения эксперимента по динамике жидкостей и аппаратура для отслеживания радиации. За ночь корабль обледенел, и запуск сначала отложили; однако команда экспертов после тщательного осмотра сделала заключение, что лед успеет растаять. Через семь секунд после взлета шаттл выполнил характерный переворот и «повис» на огромном отсоединяемом топливном баке. В таком положении он полетел к востоку над Атлантическим океаном; шум его двигателей, похожий на грохот отбойного молотка, разносился в радиусе сотен километров. Под порывом ветра дым чуть изменил направление. Через минуту после старта — до отсоединения двух ракет с твердым топливом оставалось ровно столько же — в месте стыковки корпуса правой ракеты вспыхнуло пламя. На 72-й секунде ракеты потянуло в разные стороны. Основные двигатели разогнались на полную мощность, и Скоби передал по радиосвязи: «Роджер. Полный вперед». На 73-й секунде топливный бак потерял герметичность и

выбросил струю жидкого водорода, которая взорвалась в воздухе. Шаттл внезапно резко толкнуло вбок. Его окутало пламя и клубы дыма. Через несколько секунд «Челленджер» развалился на несколько частей: левое крыло, реющее в небе, как треугольный парус, двигатели, все еще изрыгавшие пламя, и цельнометаллический гроб для пяти мужчин и двух женщин, на всех парах несущийся к океану. Благодаря телевидению и спутникам, поднятым на орбиту предыдущими шаттлами, миллионы людей стали свидетелями катастрофы и могли раз за разом пересматривать ее хронику.

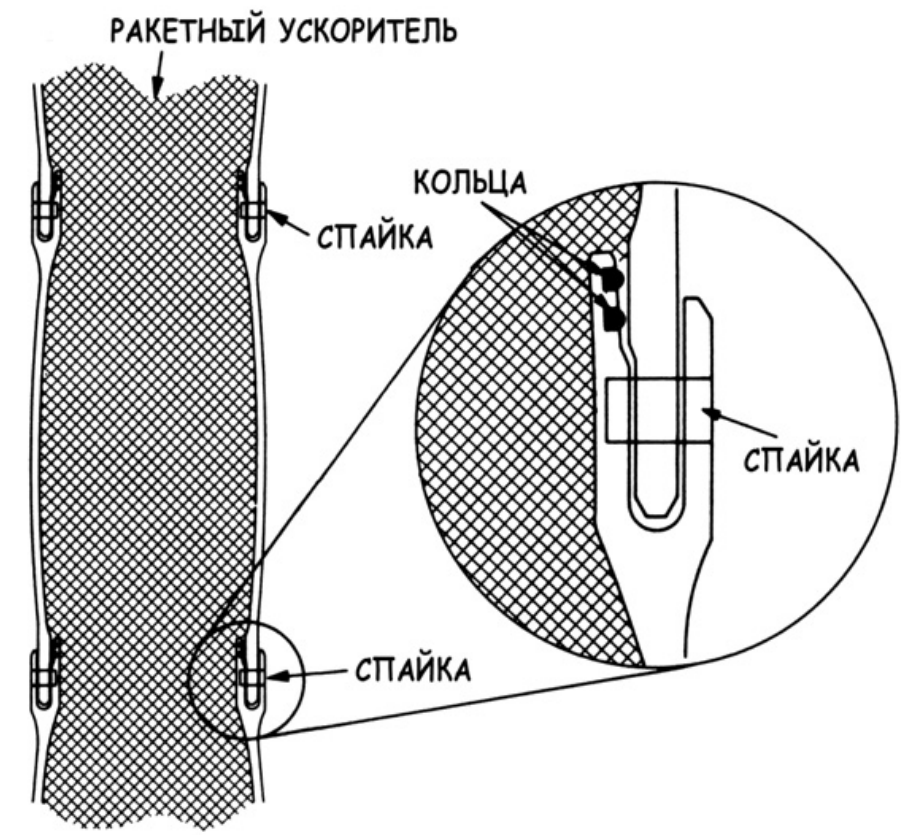
Машина вышла из-под контроля. Американское космическое агентство позиционировало себя как символ технического совершенства: под его руководством люди ступили на Луну; оно насаждало иллюзию, что космические путешествия — нечто обыденное, о чем свидетельствовало само слово «шаттл» («челнок»). Но после аварии на АЭС Три-Майл-Айленд в Пенсильвании[171] и Бхопальской химической катастрофы[172] взрыв «Челленджера» стал окончательным подтверждением того факта, что технологии вырвались из-под контроля человека. Неужели на машины больше нельзя рассчитывать? На смену мечтам о высокотехнологичном будущем, захватившим Америку еще в те годы, когда Фейнман был ребенком, пришел страх и убежденность в том, что технология не просто зло, а зло неуправляемое. Атомные станции, когда-то обещавшие стать неиссякаемым источником чистой энергии, превратились в угрожающие символы неминуемой катастрофы на фоне мирного ландшафта. Автомобили и компьютеры, простые бытовые приборы и гигантские промышленные машины — все стало казаться непредсказуемым, опасным и подозрительным. Сообщество инженеров — окрыленных надеждами идеалистов из фейнмановского детства — превратилось в технократию, раздувшуюся и чрезмерно самоуверенную, которая медленно деградировала в лучах собственной славы создателей сложнейших механизмов. Вот о чем думали в тот день миллионы людей, раз за разом пересматривая на телеэкранах страшные кадры — облако густого дыма и разлетающиеся в стороны огненные обломки, похожие на следы гигантского фейерверка.

Президент Рональд Рейган немедленно объявил о своей решимости продолжить программу запуска шаттлов и выразил поддержку НАСА. Следуя государственному обычаю, он учредил комиссию по расследованию аварии, которую подчеркнуто называли независимой. В официальном заявлении Белого дома говорилось, что речь идет о «группе сторонних экспертов, уважаемых американцев, способных дать беспристрастное

заключение». На самом деле в нее входили сплошь «свои» да фигуры, приглашенные из-за их символического статуса, такие как генпрокурор и госсекретарь республиканской администрации Уильям Роджерс и генерал-майор Дональд Кутина, который возглавлял операции по запуску челноков в Министерстве обороны. Кроме того, в комиссии состояли несколько консультантов НАСА и главы компаний — подрядчиков агентства Салли Райд, первая американка в космосе; Нил Армстронг, первый человек на Луне; Чак Йегер, знаменитый пилот-испытатель в отставке; приглашенный в последний момент профессор Ричард Фейнман (благодаря чему на следующий день в газетах появилось сообщение о включении в состав комиссии нобелевского лауреата). В день своего назначения Армстронг заявил, что не видит необходимости в создании независимой комиссии. Роджерс выразился еще яснее: «В ходе этого расследования мы не станем подвергать НАСА несправедливой критике, так как считаем — я, по крайней мере, — что управлением была проделана отличная работа; полагаю, все американцы со мной согласятся».

Белый дом назначил главой комиссии Роджерса, остальные участники были выбраны из списка, предоставленного действующим руководителем космического агентства Уильямом Грэмом. Тридцать лет назад Грэм учился в Калтехе и часто посещал курс «Физика X», о котором вспоминал как о лучшем вузовском курсе. Позже он слушал лекции Фейнмана в Hughes Aircraft. Но ему не приходило в голову пригласить своего бывшего преподавателя в комиссию, пока эту идею ему не подсказала жена, которая вместе с ним присутствовала на нескольких лекциях. Когда Грэм позвонил Фейнману, тот сказал: «Вы мне портите жизнь». Лишь потом стало ясно, что имел в виду ученый: у него оставалось слишком мало времени… Фейнману диагностировали крайне редко встречающуюся форму рака — макроглобулинемию Вальденстрёма, рак костного мозга. При этом заболевании нарушается функция B-лимфоцитов — белых кровяных клеток: они начинают производить излишки белка, что приводит к вязкости и загущению крови. Ухудшается кровоток, возникает опасность тромбоза. Также одним из следствий этого было нарушение функции почек, от которого Фейнман страдал уже давно. Он выглядел бледным и постаревшим. Врачи мало что могли предложить; они не могли объяснить, как у одного человека возникли две таких необычных разновидности рака. Фейнман же отказывался даже думать о том, что эта болезнь могла быть результатом его работы над проектом атомной бомбы сорокалетней давности.

Расследование причин крушения «Челленджера» он начал с того, что созвал на совещание друзей из Лаборатории реактивного движения в Пасадене. Через день после своего назначения членом комиссии он уже сидел в небольшом кабинете центрального инженерного корпуса и встречался со специалистами. В лаборатории было установлено современное оборудование по обработке изображений; к тому времени сотрудники уже располагали оригиналами негативов тысяч фотографий, сделанных панорамными камерами при запуске шаттла.



Твердотопливные ракетные ускорители шаттла были секционными и собирались в ступенчатую систему на месте запуска. Места соединения секций запаивались во избежание утечки раскаленного газа. Ракету диаметром около 3,5 метра опоясывали два резиновых уплотнительных кольца шириной 0,6 см. Давление газа должно было впечатать их в соединения, тем самым обеспечив герметичность.

Фейнман изучил технические чертежи и выслушал специалистов, разрабатывавших ранние конструкции

твердотопливных ракетных ускорителей и двигателей. Он узнал, что инженеры — особая подгруппа в административной иерархии НАСА, включающей различные департаменты и компании-субподрядчики, — отдавали себе отчет в том, что каждый запуск был рискованным предприятием. В лопастях турбин двигателей, сконструированных с учетом новейших технологий, периодически возникали трещины. В первый же день работы комиссии — 4 февраля — Фейнман узнал, что о проблеме с резиновыми уплотнителями, которые должны были обеспечивать герметичность соединений между секциями длинной твердотопливной ракеты, было известно давно. Эти тонкие резиновые кольца длиной 11 м (что соответствовало обхвату ракеты) отличались от обычных колец, используемых в повседневной жизни, лишь размерами. Предполагалось, что под давлением высокотемпературного газа они плотно прижмутся к металлическому соединению и герметично его запечатают. «На резиновых кольцах, закрепленных металлическими скобами, образуются подпалины, — записал Фейнман нетвердой рукой пожилого человека. — Стоит образоваться одной маленькой дырочке, и она мгновенно превратится в большую! Несколько секунд — и катастрофа». В тот же вечер он улетел в Вашингтон.

Работа комиссии началась формально и неторопливо. Роджерс открыл первое публичное заседание, объявив, что администрация НАСА выразила готовность к сотрудничеству и что комиссия будет полагаться главным образом на результаты собственного расследования агентства. В начале заседания один из руководителей подразделения космических полетов НАСА Джесси Мур выступил с брифингом. Неожиданно его засыпали резкими вопросами — не только Фейнман, но и другие члены комиссии, — в основном касающимися погодных условий: в дни запуска было так холодно, что оборудование на пусковой площадке покрылось льдом. Мур заявил, что предупреждений о возможных проблемах, связанных с обледенением, не поступало.

Однако в тот же день другой консультант НАСА — Джадсон Лавингуд из Центра космических полетов Маршалла в Алабаме — рассказал о состоявшемся накануне вечером телефонном совещании между чиновниками НАСА и сотрудниками корпорации Morton Thiokol, специализирующейся на выпуске твердотопливных ракетных двигателей. В ходе этой беседы обсуждалась «обеспокоенность Thiokol низкими температурами», основным поводом для которой стали как раз резиновые кольца. Тем не менее в Thiokol рекомендовали не откладывать запуск. Лавингуд также сообщил о том, что были обнаружены признаки «опаления» — следы сажи, указывающие на то, что

высокотемпературные газы прорвались сквозь соединительные кольца, которые должны были их сдерживать. Однако, подчеркнул он, резиновые кольца всегда используют парами и второе из них должно было удержать соединение. «Может ли это служить поводом для беспокойства?» — спросил генерал Кутина.

«О да, — ответил Лавингуд. — Это аномалия».

На следующий день — 7 февраля — в газетах появились сообщения о том, что комиссия обсудила возможное влияние холодной погоды и обледенения на трагический исход полета и что в адрес администрации НАСА прозвучало несколько агрессивных вопросов, которые застигли чиновников врасплох. Когда Мур предстал перед комиссией в следующий раз, Фейнман тут же атаковал его снова, так что председатель был вынужден дважды обратиться к нему с просьбой отложить расспросы. Но вскоре расследование вновь вернулось к резиновым кольцам. Еще один свидетель из НАСА показал, что на фотографиях запуска рядом с правым ракетоносителем видны клубы серого дыма. Их появление зарегистрировали через 0,6 секунды после старта. «А это стоит считать аномалией?» — спросил Фейнман. Свидетель Арнольд Элдрич с осторожностью отвечал: «Можно, но только в том случае, если на записи с успешным запуском мы не обнаружим такого же дыма. — Когда другой член комиссии принялся его расспрашивать, он добавил: — О сертификации этих колец мне известно лишь одно: испытания, проведенные в целях проверки данного типа соединения, демонстрируют, что несмотря на отвердевание при охлаждении уплотнители обеспечивают адекватную герметичность в любых температурных условиях. Не было никаких данных, указывающих на то, что система не может быть запущена при температуре ниже нуля».

Председатель поспешил успокоить Элдрича: «Целью наших вопросов не являются поиски того, кого можно было бы обвинить, — и обратился к Муру: — Мне кажется, напрасно в сегодняшних газетах написали, что вы полностью исключили вероятность влияния погоды… По-моему, вы этого не говорили. Изначально вы отрицали такую возможность, но потом вам позвонили из Рокуэлла с предостережением. Вы обдумали это предупреждение, но решили не откладывать запуск. Давайте предположим, что это суждение было ошибочным. Поймите, никто не собирается никого обвинять. Всегда есть кто-то, кто должен принимать такие решения».

Но Фейнман не согласился с таким выводом; он заявил, что единственно ошибочным было решение не обращать внимания на следы сажи вокруг резиновых колец в надежде, что вторые кольца удержат конструкцию.

«Вы сказали, что второе кольцо должно было уцелеть, — сказал Фейнман. — Но ведь вы не ожидали, что и первое кольцо расплавится… В случае, если начинает хоть немного оплавляться второе кольцо, ситуация становится крайне опасной — ведь это означает, что газ уже прорвался через соединение».

К дискуссии присоединился Кутина. (Генерал ВВС Дональд Кутина подружился с Фейнманом, когда они сидели рядом на первой пресс-конференции в составе комиссии. «Говорю вам как второй пилот первому, — тихо произнес он, выбрав столь уважительное обращение, так как ему казалось, что Фейнман нервничает рядом с генералом в полном военном облачении, — причешитесь». Фейнман удивился, что-то проворчал и попросил у Кутины расческу.). Он заметил: «Позвольте дополнить ваш комментарий… Стоит этой резинке продырявиться в одном месте, и она вспыхнет, как ацетиленовая горелка».

Фейнман произнес: «У меня есть изображение резинового кольца в разрезе. Кто-нибудь хочет посмотреть?» Никто не ответил.

Выходные, начавшиеся в субботу, 8 февраля, были полны очередных неожиданностей для Фейнмана, Роджерса, Грэма, прессы и администрации НАСА.

Находясь вдали от дома и пользуясь своим опытом участия в экстренном групповом техническом проекте в Лос-Аламосе, Фейнман решил использовать выходные для дела. В субботу при посредничестве Грэма он организовал несколько частных брифингов в штаб-квартире НАСА в Вашингтоне. Изучил строение двигателей, орбитального аппарата и соединений. Снова убедился в том, что инженеры НАСА давно знали о проблемах с резиновыми уплотнительными кольцами и что во время испытаний неоднократно оплавлялись и сгорали небольшие участки одиннадцатиметровых колец. Критическое значение имела скорость, с которой такое кольцо должно было запечатать металлическое соединение: на это отводились миллисекунды, а космическое агентство каким-то образом умудрилось одновременно признать и проигнорировать проблему. Особенно поразил Фейнмана протокол собрания специалистов Morton Thiokol и администраторов НАСА, которое состоялось в августе прошлого года. Рекомендации противоречили друг другу:

«Отсутствие дополнительной герметизации монтажного стыка — важнейшая проблема; следует как можно скорее уменьшить проворачивание соединений, чтобы устранить этот критический недостаток». — «Анализ существующих данных указывает на безопасность полета».

В тот же день в другом крыле штаб-квартиры НАСА назревала

буря. В редакцию New York Times каким-то образом попали документы с информацией о том, что руководство космического агентства в течение последних четырех лет не раз получало настойчивые предостережения о существовании проблем с уплотнительными кольцами. Грэм, занявший пост директора совсем недавно (предыдущего руководителя Джеймса Беггса обвинили в мошенничестве, не связанном с делами НАСА), тут же позвонил Роджерсу.

Статья вышла в воскресенье. Предостережения, о которых шла речь, оказались гораздо серьезнее того, о чем инженеры рассказали Фейнману: разрыв соединения мог привести к «гибели корабля, миссии и экипажа из-за эрозии металла, сквозного повреждения корпуса, последующего воспламенения и пожара». «Не остается сомнений, — подытоживала статья, — что безопасность полетов находится под вопросом из-за существующей угрозы разгерметизации стыков; общеизвестно, что при запуске это чревато катастрофой».

В то утро Грэм отвез Фейнмана в Национальный музей воздухоплавания и астронавтики Смитсоновского института. Сидя в огромном музейном кинотеатре, Фейнман смотрел вдохновляющий фильм о космическом шаттле. К его удивлению, картина вызвала у него сильные эмоции.

Вечером в отель к Фейнману зашел Кутина. Генерал хорошо знал устройство шаттла, лучше любого другого члена комиссии. У него также был опыт проведения технических освидетельствований: всего год назад он под эгидой BBC возглавлял расследование взрыва ракеты «Титан». Среди инженеров и космонавтов у него были свои источники. Один из них в эти выходные сообщил, что в Thiokol знали о возможности потери резиновыми кольцами упругости при низких температурах. Кутина хотел обнародовать эту информацию, не раскрывая источник. Он пригласил Фейнмана к себе домой на воскресный обед. У Кутины было хобби — находить на свалках старинные машины и реставрировать их; тогда он работал над старым опелем GT. После обеда они пошли в гараж. На верстаке лежал карбюратор, и Кутина сказал Фейнману: знаешь, этот карбюратор на холоде течет; думаешь, то же самое могло случиться с теми кольцами?

В понедельник Роджерс созвал закрытое собрание комиссии для обсуждения материалов, опубликованных в New York Times. Он дал понять, что считает публикацию нарушением следственного процесса: «Полагаю, всем понятно, что статья в New York Times и прочие подобные материалы привели к возникновению неприятной и нежелательной ситуации. Но что

сделано, то сделано». Представителей НАСА попросили дать комментарий. «Мне кажется, это утверждение — о том, что разрыв соединения “чреват катастрофой”, — явно преувеличено», — заявил один из них. Роджерс в ответ заметил: «Возможно». Лоренс Маллой, управляющий проектом твердотопливных ракет, еще раз подтвердил, что резина, используемая при производстве уплотнительных колец, выдерживает самый широкий температурный спектр — от минус тридцати четырех до двухсот шестидесяти градусов Цельсия. Однако ему ничего не было известно о результатах тестов резины на упругость при низких температурах.

На следующее утро Маллой провел брифинг для членов комиссии — очередное собрание из тех, которые Кутина охарактеризовал как попытки «понять, где у шаттла острый конец, потому что на самом деле этого никто не знает». Он принес с собой более десятка чертежей и диаграмм и продемонстрировал свое мастерство владения инженерным жаргоном: «штифтом вверх, скобой вниз», «пескоструйная обработка», «нагрузка при приводнении», «цинкохромовая асбестовая штукатурка “Рэндольф” типа II, наложенная полосами». В итоге его не поняли ни присутствующие репортеры, ни члены комиссии. «А как ведут себя эти материалы — штукатурка и резина — под действием экстремальных температур?» — раздался вопрос.

Оказалось, они меняют свойства. «При охлаждении эластомеров снижается упругость и способность реагировать на…»

«Эластомер — это что?»

«Резиновое кольцо “Витон”».

«Резина?»

Фейнман продолжил расспрашивать Маллоя, почему именно упругость является критическим свойством: если для герметизации стыков использовать мягкий металл, такой как свинец, вибрация и скачки давления неизбежно приведут к разрыву: металл просто не выдержит. «Если уплотнительный материал потеряет упругость на одну-две секунды, — спросил Фейнман, — достаточно ли этого для возникновения крайне опасной ситуации?»

Он загнал Маллоя в угол. Его злили показания, на основе которых невозможно было прийти к какому-либо заключению; ему казалось, что свидетели что-то недоговаривают. Через Грэма он официально запросил результаты тестов, но получил совершенно другие документы — данные об испытаниях, отражающих характеристики резины при эксплуатации в течение

нескольких часов, а не миллисекунд при низких температурах. Почему в НАСА не могли ответить на такой простой вопрос? В понедельник вечером за ужином он заметил на столе стакан воды со льдом, и у него возникла идея, поначалу показавшаяся слишком простой и очевидной. Температура воды со льдом 0 градусов; почти такая же температура была на взлетной площадке в момент запуска. Во вторник утром он встал пораньше и поймал такси. Объездив полгорода в поисках магазина скобяных товаров (в центре находились одни только государственные конторы), он наконец купил небольшую такелажную скобу и кусачки.

Началось слушание. Фейнман попросил воды со льдом. Ассистент принес кувшин и стаканы для всех членов комиссии. Тем временем собравшимся представили срез соединения в натуральную величину. Тут Кутина заметил, что Фейнман, достав из кармана скобу и кусачки, отщипывает от модели резинового кольца небольшой кусочек, и сразу все понял. Фейнман потянулся к красной кнопке на микрофоне, но генерал его остановил: телекамеры были направлены на Роджерса. Объявили короткий перерыв; в мужском туалете, стоя рядом с Нилом Армстронгом, Роджерс проговорил: «Этот Фейнман — настоящая заноза в заднице». Когда слушание возобновилось, настал подходящий момент.

Председатель Роджерс: У доктора Фейнмана есть пара замечаний. Прошу, доктор Фейнман.

Доктор Фейнман: Замечание к мистеру Маллою. Я взял кусочек вашего резинового кольца и опустил в воду со льдом. Обнаружилось следующее: если на некоторое время подвергнуть этот материал давлению, он не восстанавливает прежнюю форму, а остается в деформированном состоянии. Другими словами, при охлаждении до 0 градусов резиновое кольцо на несколько секунд, а может, и на более длительный срок, теряет упругость. Полагаю, это имеет отношение к нашей проблеме.

Не успел Маллой заговорить, как Фейнман вызвал другого свидетеля — бюджетного аналитика Ричарда Кука, написавшего служебную записку, которая послужила основой для статьи в New York Times. Аналитик сообщил, что проблема с резиновыми кольцами несколько месяцев подряд фигурировала в списке «угроз бюджету». Он довел эти сведения до вышестоящего руководства, а когда случилась катастрофа, то не сомневался, что причина именно в кольцах. Председатель Роджерс — в первый и последний раз за время работы комиссии — лично подверг Кука перекрестному допросу, который длился все утро и добрую половину дня. Роджерс вел допрос с холодной безжалостностью

прокурора:

— Полагаю, вы задумывались о том, что, помимо угроз бюджету, существует еще угроза безопасности?

— Нет.

— Вы не обладали должной квалификацией, чтобы оценить угрозу безопасности?

— Нет, сэр.

— И у вас не было причин думать, что люди, учитывающие эти соображения, не обладают должной квалификацией? Вам казалось, что в ваши обязанности не входит принятие решений о дальнейшей судьбе космической программы?

— Именно.

— Из вашей служебной записки, которая наделала столько шума, следует, что у вас есть претензии к людям, которые обладали полномочиями принятия решений. Полагаю, вы написали доклад, поддавшись минутному порыву, так как вместе со всеми гражданами нашей страны были глубоко встревожены и опечалены случившимся. Вы же на самом деле не хотели публично критиковать своих коллег и людей, с которыми работаете?

Но к тому моменту уже не оставалось сомнений, что в докладе Кука проблема описана точно. А во всех теленовостях и газетных отчетах в тот вечер и на следующее утро говорили об эксперименте Фейнмана. В ходе дальнейшего допроса Маллой открыто признал, что низкая температура уменьшает эффективность герметизации и НАСА было об этом известно, хотя прямое тестирование — подобное тому, что продемонстрировал Фейнман, — никогда не проводилось. Когда в апреле по требованию комиссии такие тесты все-таки выполнили, неизбежность разгерметизации соединения, уплотненного холодными резиновыми кольцами, стала очевидной. Не возможность, а именно неизбежность, и этот вывод напрямую вытекал из физических свойств материалов, доказанных Фейнманом. Позже Фримен Дайсон сказал: «Люди своими глазами увидели, как делается наука, как великий ученый думает руками, а природа дает четкий ответ, когда ученый задает ей четкий вопрос».

С тех пор как Фейнман сел на самолет до Вашингтона, прошла всего одна неделя, наполненная необыкновенными событиями. Комиссия официально прекратила свою работу через четыре месяца, но физическая причина катастрофы была обнаружена сразу.

С начала 1970-х годов, после завершения последней лунной миссии, НАСА стало организацией без четкой цели. К тому

моменту агентство представляло собой огромную налаженную бюрократическую сеть, имевшую «завязки» с крупнейшими аэрокосмическими корпорациями США: Lockheed, Grumman, Rockwell International, Martin Marietta, Morton Thiokol и сотнями менее крупных компаний. Все они стали подрядчиками программы запуска космических челноков, официально известной под названием «Системы космических транспортировок» и ставившей своей целью создание целого флота многоразовых экономичных грузовых кораблей, которые должны были прийти на смену индивидуальным одноразовым ракетам прошлого.

Однако не прошло и десяти лет, как шаттл стал символом технологий, павших жертвой своей чрезмерной сложности, а программа запуска челноков продемонстрировала неумелость государственного руководства. Дизайн и конструкция основных компонентов шаттла неоднократно менялись; объем смет, предоставляемых в Конгресс, превышался в несколько раз. В ходе негласных проверок выявились случаи мошенничества и растрат, которые стоили государству миллиарды долларов. «Многоразовость» шаттла стала палкой о двух концах: затраты на реконструкцию после каждого полета превышали стоимость стандартной ракеты. При этом шаттл с трудом достигал низкой орбиты, а о выходе на высокую не было и речи. В НАСА осуществили лишь малую часть запланированных миссий, и несмотря на все публичные заверения администрации в обратном, научные и технологические достижения этих миссий были незначительными. Конгресс и общественность регулярно вводились в заблуждение по поводу финансирования программы и ее эффективности. По словам Фейнмана, агентство в качестве способа бюрократического самосохранения сочло необходимым «преувеличивать абсолютно все: экономичность шаттла, допустимую частоту запусков, безопасность полетов и грандиозность совершенных экипажем научных открытий». На момент катастрофы «Челленджера» проект разваливался изнутри: к концу года он неизбежно был бы приостановлен из-за нехватки запчастей и перегруженности программы подготовки экипажа.

Тем не менее в отчете президентской комиссии от 6 июня говорилось, что крушение «Челленджера» поставило точку «в одном из наиболее продуктивных инженерных и научно-исследовательских проектов в истории». А также публично сообщалось о «решимости… укрепить программу запуска космических шаттлов».

Позже, вспоминая о своей роли в расследовании, Фейнман вновь надевал маску деревенского простачка. «Этот бюрократический мир… представлялся мне огромным и

загадочным; в нем орудовали великие силы… Приходилось действовать осторожно». Он называл себя простым технарем и утверждал, что не разбирается в политике. Тем не менее именно он — один из всей комиссии — осмелился вступить на территорию, которую не считал сферой своей компетенции: взял на себя ответственность за принятие решений, общение с НАСА и оценку рисков. Кутина говорил, что Фейнман был единственным из них, кто мог себе позволить не оглядываться на политику. Несмотря на неодобрение Роджерса, Фейнман настоял на том, чтобы провести собственное расследование. Он в одиночку съездил в космические центры во Флориде, Алабаме и Хьюстоне, чтобы побеседовать с инженерами, а также посетил штаб-квартиры подрядчиков. А в промежутке между этими поездками он ходил в больницу в Вашингтоне, сдавал анализы крови и лечил почку, состояние которой постоянно ухудшалось; говорил по телефону со своим калифорнийским врачом, сетовавшим на то, что не может лечить его на расстоянии. «Я решительно настроен выяснить, что произошло — и будь что будет!» — с гордостью писал он Гвинет. Фейнману нравилась интрига расследования, хотя он и подозревал, что за ним внимательно следят. «Но это не сработает, потому что, во-первых, я воспринимаю и обрабатываю технические данные гораздо быстрее, чем они могут себе представить (как-никак, он был ветераном Лос-Аламоса и мастерских МТИ), и во-вторых, я уже напал на след и теперь не успокоюсь».

Он попытался прикрыться своей маской наивного простачка, когда Роджерс показал ему проект заключения о проделанной работе:

«Комиссия настоятельно рекомендует правительству и общественности оказать НАСА всевозможную поддержку. Агентство является государственным ресурсом, который играет важнейшую роль в космических исследованиях и разработках. Это символ национальной гордости и технологического совершенства. Комиссия преклоняется перед блестящими достижениями НАСА в прошлом и предвидит впечатляющие успехи в будущем…»

Прочитав этот панегирик, Фейнман сказал, что ничего не смыслит в политике и просит убрать его подпись с отчета.

Но протест ученого не имел никакого значения. Отчет оставили в первоначальном виде, лишь заменив «настоятельно рекомендует» на «полагает». И хотя комиссия установила, что решение о запуске было принято вопреки возражениям инженеров, знавших об опасности использования резиновых колец, в финальном отчете не было ни слова о необходимости

призвать руководство НАСА к ответственности за принятое решение. В августе 1986 года появились новые доказательства осведомленности вышестоящих лиц о проблемах с резиновыми кольцами; в частности, о них знал директор агентства Беггс. Но комиссия не стала даже допрашивать чиновников, чьи имена упоминались в показаниях. А доклад Фейнмана о результатах его исследований, составленный в гораздо более резких выражениях, чем основной отчет, оформили в виде отдельного приложения.

Фейнман проанализировал данные с компьютера — 250 тысяч строк на устаревшем оборудовании. Он также подробно изучил главный двигатель шаттла и обнаружил серьезные дефекты, в том числе трещины в лопастях турбин. По его подсчетам, двигатели и их элементы отработали лишь одну десятую от заявленного срока эксплуатации. Он также нашел документальное подтверждение многократного намеренного мошенничества при проведении сертификационной проверки безопасности двигателей: по мере того как в ходе эксплуатации турбин обнаруживались трещины, в сертификационные правила вносились соответствующие изменения, чтобы шаттлы продолжали летать.

Его важнейшим вкладом в анализ катастрофы стала оценка рисков и вероятностей. Он показал, что НАСА и его подрядчики, чьей главнейшей обязанностью было прогнозирование рисков, полностью проигнорировали статистику и использовали шокирующе неточный метод оценки. Официальный итог работы комиссии можно было бы свести к высказыванию Фейнмана о том, что принятие решений в НАСА осуществлялось по принципу «русской рулетки»: «Шаттл взлетает с оплавленным кольцом, и ничего не происходит. Из этого делается вывод, что риск не так уж и высок. Давайте снизим стандарты, потому что в прошлый раз нам все сошло с рук! Сойти-то сошло, но нельзя следовать этой схеме снова и снова».

Наука располагает средствами для решения таких проблем. В НАСА их не использовали, пытаясь выстроить разрозненные данные — такие, как глубина повреждения колец — в упрощенный логический ряд. Но физические явления, подобные струе высокотемпературного газа, оплавляющей резину, не поддаются линейной логике, заметил Фейнман. «Эти данные необходимо было осмыслить как сложную ситуацию со множеством вероятностных исходов, — сказал он. — Это был вопрос повышения или снижения риска, который не имеет ничего общего с логикой “или сработает, или нет”».

Было очевидно, что НАСА пренебрегло статистикой по важнейшему вопросу: влияние температуры на свойства

резиновых колец. Признаки повреждений были выявлены в семи случаях, и самые серьезные возникли как раз в результате запуска при низкой температуре 11,6 ˚С, что, в общем-то, не является критической отметкой. Однако в остальном связь между температурой и степенью повреждения не наблюдалась. К примеру, серьезные дефекты возникали также при температуре 23,8 градуса.

Ошибкой было игнорировать полеты, которые не повлекли причинения ущерба. Когда к общей картине добавили семнадцать удачных запусков при температуре от 18,8 до 27,2 градуса, влияние температуры стало очевидным. Между повреждениями и холодом прослеживалась четкая связь. (Таким же образом можно было бы оценить вероятность того, что большинство калифорнийских городов расположены в западной части США — просто отметив на карте города, находящиеся не в Калифорнии.) Группа статистиков, сформированная Национальным исследовательским советом, проанализировала эти данные. Ученые пришли к выводу, что вероятность повреждения колец при температуре 0 ˚С равнялась 14 %, что действительно было равноценно игре в русскую рулетку.

Фейнман обнаружил, что некоторые инженеры из НАСА более-менее верно оценивали потенциальный риск: по их предположениям, катастрофа могла произойти в одном случае из двухсот. Руководство же твердило о совершенно фантастических цифрах: один на сто тысяч. Это самообман, сказал Фейнман. Они вывели эти цифры, исходя из абсурдных догадок — например, подсчитав, что шанс прорыва турбинной трубы равен одному на миллион.

Он завершил персональный отчет словами: «Для успешной работы технологического средства необходимо учитывать реальность, а не политические соображения. Природу не обманешь». После окончания работы члены комиссии были приглашены на официальную церемонию, которая состоялась в Розовом саду Белого дома.

Фейнман вернулся домой. Тогда он еще не знал, что возвращается умирать.

Эпилог

Не дай нам Бог принять плод своего воображения за реальную картину мироустройства.

Фрэнсис Бэкон

Нет ничего определенного. Эту истину донес до сознания людей XX века Вернер Гейзенберг. Вслед за ним математик Курт Гёдель подтвердил, что ни одна логическая система не может считаться последовательной и полной. Истинное знание стало еще более недостижимым.

Формулировка принципа неопределенности Гейзенберга на самом деле была очень узкой: *частица не может одновременно обладать точным местоположением и импульсом*. Но это не помешало философам взять его на вооружение. В их толковании эта идея уже не ограничивалась рассуждениями об атоме и его строении. Фейнман же презирал философов, бравшихся интерпретировать законы физики («во избежание конфуза давайте назовем их “кухонными философами”»). «Эйнштейн доказал, что все относительно, и его теория глубоко влияет на наше воззрение, — говорят они. А потом добавляют: — Доказано же в физике, что описание любого явления зависит от системы отсчета наблюдателя». Мы часто слышим подобные фразы, но многие ли осознают их смысл? В конце концов, идея о том, что все вокруг зависит от нашей точки зрения, абсолютно очевидна; неужели для того, чтобы ее понять, необходимо было утруждать себя созданием теории относительности?

Теория относительности Эйнштейна не имела отношения к понятиям из мира человеческой морали. Те существовали сами по себе, безотносительно физики объектов, движущихся с околосветовой скоростью. Заимствование философией метафор из сферы технических наук было опасной практикой. Означает ли принцип неопределенности неизбежную размытость любого природного явления? Возможно. Но Фейнман перестал общаться со многими коллегами, которые видели в этом принципе объяснение изменчивости многих явлений обычного, не квантового мира — от капризов погоды до непредсказуемости человеческого поведения. Возможно, рассуждали они, квантовая неопределенность и есть та микроскопическая лазейка, через которую во Вселенную проникли свободная воля и человеческое сознание.

К примеру, Стивен Хокинг писал: «Принцип неопределенности положил конец мечтам Лапласа[173] о научной теории, которая представила бы абсолютно детерминированную модель Вселенной… Квантовая механика привносит в науку неизбежный элемент непредсказуемости и случайности». Фейнман придерживался иных взглядов. Уже в 1960-е годы он предвидел, что в результате изучения хаотических явлений ученые придут к пониманию: непредсказуемость есть характерная черта классического мира. Он верил, что во Вселенной, не подчиняющейся принципам квантовой неопределенности, и в масштабах планетарных систем, и на уровне человеческого мозга будут царить такой же хаос и непредсказуемость, как и в современном мире.

«Обычно считается, что наша неспособность предвидеть будущее объясняется законами квантовой механики, — так же как принципы работы ума, чувств, воли и так далее. Но очевидно, что в классическом мире, где действуют законы классической механики, ум будет работать точно так же.

Почему? Потому что все наши маленькие упущения, крошечные прорехи в знании многократно усиливаются в ходе взаимодействия сложных систем и достигают громадных масштабов.

Ударяясь о плотину, поток воды разлетается брызгами. Если стоять рядом, капли время от времени будут попадать на нос. Кажется, что это происходит совершенно случайным образом… Каждое небольшое нарушение порядка усиливается при свободном падении, и мы получаем полный хаос.

Если бы мы стремились к более точному результату — хоть сколько-нибудь точному, — можно было бы отмерить определенный период времени и сделать прогноз, который окажется точным именно для этого периода. Но дело в том, что этот отрезок будет чрезвычайно коротким, и очень скоро мы потеряем все данные… И не сможем предсказать, что будет дальше. Поэтому было бы несправедливо, взяв за основу представления о якобы свободной и недетерминированной природе человеческого разума, утверждать, что классическая “детерминистская” физика никогда бы не смогла его понять, и провозглашать квантовую механику освобождением от “механистического” взгляда на Вселенную».

Это расхождение во мнениях, выражение несогласия с более распространенными взглядами физиков вроде Хокинга, не было мелочью. Оно легло в основу фундаментальных споров о достижениях и будущем физики, разгоревшихся на рубеже веков.

Квантовые физики восторгались эффективностью своих

теорий. Их главенствующей идеей стала «теория великого объединения» — концепция, получившая собственную аббревиатуру, ТВО. Под научным прогрессом уже давно подразумевали объединение явлений, которые прежде рассматривались отдельно друг от друга. К примеру, электродинамика Максвелла положила начало единой теории электричества и света. Стивен Вайнберг и Абдус Салам свели воедино электромагнетизм и слабое взаимодействие, создав теорию, названную, конечно же, электрослабым взаимодействием. Однако это последнее объединение столь далеких друг от друга областей казалось скорее математической хитростью, чем демонстрацией того, что эти силы действительно являются двумя сторонами одной медали. Квантовая хромодинамика попыталась включить в эту картину еще и сильное взаимодействие, однако теория не получила убедительного экспериментального подтверждения. А в последнее время физики вели себя так, будто объединить можно всё и вся и недалек тот час, когда можно будет прикрыть лавочку и объявить работу завершенной. Они представляли себе — уже почти воочию видели — «всеобъемлющую модель Вселенной», «полное описание Вселенной, в которой мы живем», «унифицированную теорию всего на свете». Однако на фоне пафосной риторики происходило заметное снижение политического статуса физиков. Аура почета, окружившая ученых после создания атомной бомбы, существенно померкла. Для проведения экспериментов с высокими энергиями требовалось все более дорогостоящее оборудование, и проблема финансирования этих проектов разделила ученых на два политических лагеря.

В год смерти Фейнмана двое физиков-экспериментаторов опубликовали статью, которая начиналась с прямолинейного заявления: «Пятьдесят лет исследований в области физики частиц привели к формированию изящной и точной теории взаимодействия частиц на субъядерном уровне». Специалисты из других областей физики не были настроены столь оптимистично. Изящная и точная? Но тогда почему так много величин — массу и прочие специфические численные параметры частиц — приходилось «подсаживать» в теорию? Если б она была изящной, эти величины из нее выводились бы. Почему в ней так много перекрывающихся полей? Симметрий, как будто специально нарушенных для того, чтобы сошлись данные? Возможно, квантовые числа — цвет, очарование и тому подобное — и были изящными упрощениями. А может, они выполняли роль резинки, которой наскоро обмотали грозящую развалиться конструкцию?

Если теоретикам удалось объяснить конфайнмент кварков, оправдав тем самым существование частицы, не наблюдающейся в свободном состоянии, значит, можно объяснить все что угодно. Не притянута ли за уши эта теория, или, как провокационно выразился один критик, не является ли она «искусственной интеллектуальной структурой, скорее совокупностью уловок и приемов, удачно подходящих случаю… чем логично сформулированным осмыслением опыта?» Хотя отдельные элементы иногда проверялись в ходе экспериментов, теорию в целом уже никто не мог опровергнуть, как никто не брался оспаривать ее основополагающую риторику. Действительно, разве еще оставались явления, которые нельзя было бы объяснить, введя новые нарушения симметрии, квантовое число или пару лишних пространственных измерений? Отдел запчастей современной физики был так хорошо укомплектован хитроумными приспособлениями, что для любых данных, поступающих из ускорителей частиц, при желании можно было слепить рабочий механизм.

Это была жестокая критика, но поступила она не от Фейнмана. Когда-то Фейнман сам говорил о том, что хочет найти фундаментальный закон природы. Теперь все изменилось.

«Меня спрашивают: “Вы ищете основополагающие законы физики?” Нет, не ищу… Если окажется, что закон, объясняющий всё, действительно существует, я был бы рад его найти. Но если природа подобна луковице с миллионом слоев… значит, так и должно быть».

Он считал, что заслуги его коллег в «унификации» преувеличены, а разрозненные теории были слеплены ими кое-как. Когда Хокинг заявил, что «мы, возможно, близки к завершению поисков основополагающих законов природы», многие специалисты в области физики частиц с ним согласились. Но только не Фейнман.

«Я всю жизнь от кого-нибудь слышу, — признался он, — что ответ буквально за углом. И раз за разом эти оптимисты терпят поражение. Эддингтон, считавший, что с теорией электронов и квантовой механикой все станет намного проще… Эйнштейн — он думал, что вывел единую теорию, но ничего не знал о ядре и, естественно, не мог даже догадываться о дальнейшем развитии событий… Всем им казалось, что они близки к ответу, но я-то знаю, что это не так…»

«Существует ли в природе одна-единственная фундаментальная, унифицированная, простая и прекрасная теория? Вопрос остается открытым, а я не хочу гадать».

В 1980-е годы на звание единой теории претендовала теория

струн, которая имела мощное математическое обоснование. В ее основе лежало понятие структур, напоминающих струны и существующих в нескольких измерениях. Лишние измерения сворачивались, и возникало нарушение симметрии, получившее название «компактификация». Важнейшим и основополагающим принципом этой теории стал фейнмановский метод суммирования по траекториям; амплитуда вероятностей высчитывается путем сложения всех возможных квантовых событий, которые рассматриваются как топологические поверхности. Фейнман держался в стороне от этих исследований, иногда замечая, что, вероятно, он слишком стар, чтобы оценить «модные веяния». Теорию струн было невозможно проверить экспериментально. А Фейнману казалось, что теоретики не очень-то и рвутся проводить эксперименты, ведь тогда их идеи могут признать ошибочными. Он не спешил записаться в число сторонников «теории всего» — она его смущала — и снова занял позицию наблюдателя, повторяя, что склонен решать проблемы по мере их поступления.

Когда историк, изучающий физику частиц, задал Фейнману вопрос о «единой теории», тот заколебался. Они беседовали, сидя в фейнмановском кабинете в Калтехе.

— Ваша карьера как раз охватывает период создания стандартной модели, — сказал историк.

— Стандартной модели? — неуверенно повторил Фейнман.

— $SU(1) \times SU(2) \times U(1)$. От перенормировки и квантовой электродинамики до настоящего времени.

— Стандартная модель, стандартная модель… — проговорил Фейнман. — Имеется в виду модель, в которой у нас есть электродинамика, слабое взаимодействие и сильное взаимодействие? Пожалуй, да.

— Серьезное достижение — свести их воедино.

— Но это не единая теория.

— Однако они связаны и являются элементами единой теории? — спросил историк.

— Нет.

Тут у его собеседника, похоже, возникли проблемы с формулировкой вопроса:

— А как же тогда называется вот это: $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$?

— Это три теории, — ответил Фейнман. — Сильное взаимодействие, слабое взаимодействие и электромагнетизм… Они кажутся связанными, потому что на первый взгляд обладают похожими характеристиками. Но что в них общего? Точка соприкосновения появится, только если добавить какой-нибудь неизвестный элемент. На данный момент не существует теории,

которая содержала бы в себе SU(3) × SU(2) × U(1) — что бы ни значили эти буквы — и имела бы экспериментальное подтверждение… Да, эти ребята пытаются свести всё воедино. Ключевое слово — пытаются. Но никому еще это не удалось. Понимаете?

Специалисты по физике частиц были его коллегами, его сообществом. Элитой, которая поклонялась ему и которой он был обязан своим престижем. Публично он редко не соглашался с их убеждениями. В последние двадцать лет Фейнман работал над теми же проблемами, что и они; и как ни пытался он обособиться и *всех игнорировать,* ему пришлось идти в русле общих исследований.

— Значит, мы не ближе к созданию единой теории, чем во времена Эйнштейна? — спросил историк.

Фейнман рассердился:

— Какой дурацкий вопрос! Конечно, ближе. Мы больше знаем. Существует предел познания, и на пути к нему мы, естественно, продвинулись гораздо дальше, понимаете? Не знаю, как разумно ответить на такой глупый вопрос. От этих чертовых интервью никакой пользы.

Он встал из-за стола и вышел в коридор, барабаня костяшками по стене. И пока он не скрылся из поля зрения, гость слышал его выкрики: «Бесполезно говорить о таких вещах, черт вас дери! Это пустая трата времени! И изучать историю этой науки — бред! Вы пытаетесь представить сложным и запутанным нечто очень простое и прекрасное».

Из кабинета напротив выглянул Мюррей Гелл-Манн. «Я смотрю, вы познакомились с Диком», — сказал он.

Фейнман всегда устанавливал высокие стандарты фундаментальных исследований, хотя под словом «фундаментальный» он имел в виду нечто гораздо более обширное, чем большинство ученых, работающих в сфере физики частиц. Жидкий гелий и задачи из области физики твердых тел казались ему не менее основополагающими, чем взаимодействие мельчайших частиц. Он верил, что фундаментальность, как и красота интеллекта, — понятие многомерное. На протяжении всей своей карьеры он переживал болезненные периоды простоя, когда не мог найти себе подходящее занятие. Пытался понять турбулентность и квантовую гравитацию. В последние годы он и его коллеги стали замечать, что их некогда многочисленное сообщество стало редеть: талантливые молодые студенты предпочитали искать ответы на фундаментальные вопросы в других областях и часто обращались к биологии, компьютерным наукам или новой теории хаоса и теории сложности вычислений.

Вот и сын Фейнмана Карл, когда прошло его мимолетное увлечение философией, занялся компьютерными исследованиями. Когда-то Фейнман способствовал зарождению этой отрасли в Лос-Аламосе; теперь он снова обратил на нее внимание. Вместе с двумя авторитетными специалистами по компьютерным наукам из Калтеха Джоном Хопфилдом и Карвером Мидом он создал курс, охватывающий самые разнообразные проблемы, — от искусственного интеллекта и распознавания образов до исправления ошибок и неисчисляемости. Несколько лет подряд в летние месяцы он сотрудничал с основателями компании Thinking Machines Corporation, располагавшейся недалеко от МТИ, и участвовал в создании радикального подхода к параллельному выполнению процессов; он был высококлассным техническим экспертом, применяющим дифференциальные уравнения к принципиальным электросхемам, и мудрым советником для юных предпринимателей («Забудьте про “локальные минимумы” и прочую такую ерунду — просто представьте, что в кристалл попал пузырек воздуха и вам нужно его вытряхнуть»). А еще он взялся за самостоятельные изыскания на стыке компьютерной науки и физики: изучал, насколько маленькими могут быть компьютеры, исследовал принцип энтропии и неопределенности, симуляцию квантовой физики и вероятностного (стохастического) поведения, возможность создания квантово-механического компьютера с пучками спиновых волн, которые проходят сквозь логические ворота и обратно, отскакивая, словно пуля.

Его коллегам по физике частиц так и не удалось ответить на фундаментальные вопросы, которые когда-то привели его в науку. Между субатомной вселенной и сферой обычных явлений — повседневной магией, которая понятна даже детям, — разверзлась интеллектуальная пропасть. В «Фейнмановских лекциях по физике» он приводил аллегорию с радугой. Представьте мир слепых ученых: они могут обнаружить существование радуги, но сумеют ли почувствовать ее красоту? Суть вещей не всегда заключена в микроскопических деталях. Слепые ученые заметили бы, что в определенных погодных условиях интенсивность излучения как функция длины волны начинает вести себя иначе: у нее появляется пик, который перемещается с одной длины волны на другую по мере того, как меняется угол наклона прибора. «А потом однажды, — писал он, — в физическом журнале для слепых появилась бы техническая статья под названием “Интенсивность излучения как функция угла при некоторых метеоусловиях”». Фейнман ничего не имел против красоты — человеческой иллюзии, проекции

эмоций на реальность феномена излучения.

«Все мы стали редукционистами», — говорил Стивен Вайнберг, имея в виду, что физики ищут обоснование глубочайших принципов мироустройства в поведении элементарных частиц, составляющих основу обычной материи. Он говорил о многих своих коллегах, но не о Фейнмане, для которого постижение законов, объясняющих устройство нижних уровней иерархии — мира микроскопических масштабов, — вовсе не означало понимания всей природы. Многие явления оставались за гранью ускорителей, даже если в каком-то смысле их можно было редуцировать до элементарных частиц. Хаотическая турбулентность; крупномасштабные структуры, возникающие в сложных системах; сама жизнь. Фейнман говорил о «бесконечном разнообразии и новизне явлений, которые можно вывести из простейших принципов» — явлений, которые уже обнаружены «в уравнениях; осталось лишь найти способ выманить их на поверхность».

Главной проверкой научного мышления является его способность к предвидению. Будь вы с другой планеты, смогли бы вы предсказать земные грозы, извержения вулканов, рождение океанских волн, северного сияния, цветных закатов?

Возможно, следующая великая эпоха развития человеческого интеллекта научит нас соотносить уравнения с реальностью. Но пока мы не можем этого сделать. Пока мы лишь знаем, что в уравнениях, объясняющих течение жидкости, «существуют» вихревые потоки турбулентности, которые можно наблюдать между вращающимися цилиндрами. Но мы не можем увидеть, описывает ли уравнение Шрёдингера лягушек, великих композиторов или мораль: возможно, описывает, возможно — нет.

Физические модели похожи на географические карты: они никогда не бывают законченными; разрастаясь, они становятся такими же необъятными и сложными, как реальность, которую отображают. Эйнштейн сравнивал научное познание с попыткой понять, как устроен внутренний механизм часов, находящийся в закрытом корпусе: ученый может создать правдоподобную модель, объясняющую ритмичное тиканье и движение, но никогда не будет до конца знать, что же там происходит. «Он также может верить в идеальный предел знаний, называемый объективной истиной, и в то, что человеческий ум способен достигнуть этого предела», — говорил Эйнштейн. Но во времена Эйнштейна все было проще. В эпоху Фейнмана знаний стало больше, однако объективная истина отодвигалась все дальше в туман, сквозь который не проникало научное в*и*дение. Квантовая

теория оставила без ответа важный вопрос, на который попытался ответить один из физиков; он процитировал Фейнмана, «одного из величайших философов нашего времени», в стихотворной форме — «ибо что это еще, как не поэзия?»

Нам всегда было сложно понять
Взгляд на мироустройство,
Предложенный квантовой механикой.
По крайней мере, мне трудно,
Потому что я уже стар
И все описанное в этой теории
Так и не стало для меня очевидным.
Да, квантовая механика
По-прежнему заставляет меня нервничать.
Знаете, как бывает:
Когда появляется новая идея,
Должно пройти время — одно, два поколения,
Пока не становится очевидным,
Что на самом деле никакой проблемы нет.
Я не могу определить, в чем проблема,
Следовательно, я подозреваю, что ее не существует,
Но я не могу быть
Абсолютно в этом уверен.

В октябре 1987 года у Фейнмана снова обнаружили опухоль в брюшной полости, и врачи предприняли последнюю попытку остановить рак хирургическим путем. Когда из Los Angeles Times ему прислали предварительный текст некролога, Фейнман поблагодарил автора и ответил: «Я решил, что не стоит читать его заранее; пусть это будет для меня сюрприз». Он знал, что уже не поправится. Ему было шестьдесят девять лет. Он мучился от сильной боли в ноге. У него не было аппетита. В январе он начал просыпаться по ночам в холодном поту. В углу пыльной доски, висевшей в кабинете, его рукой было написано несколько кратких напутствий: «Я не в состоянии понять то, что не могу воспроизвести»; «Умей решать уже решенные задачи». Рядом был список, озаглавленный «Выучить»: («подстановка Бете для двухмерного эффекта Холла…»). Физика изменилась; как-то раз он уже говорил об этом со Станиславом Уламом, своим старым другом по Лос-Аламосу. Тот смотрел на редкие белые облака, проплывающие по голубому небу Нью-Мексико, и Фейнман словно прочел его мысли: «На первый взгляд они имеют контур облаков, — сказал он. — Когда смотришь на них, они вроде бы не меняются, но стоит на минуту отвлечься, и все становится

совершенно другим».

За свою жизнь он накопил не так много личных вещей: шарф, связанный вручную и висевший на крючке, — подарок студентов из Югославии; фотография Мишель с виолончелью; черно-белые снимки северного сияния; глубокое кожаное кресло; сделанный им карандашный набросок с портретом Дирака; фургон, весь исписанный шоколадно-коричневыми фейнмановскими диаграммами. Третьего февраля он снова лег в Медицинский центр при Калифорнийском университете Лос-Анджелеса.

Врачи в отделении интенсивной терапии обнаружили прободную язву двенадцатиперстной кишки. Прописали антибиотики, но его единственная почка практически перестала работать. Провели курс диализа — почти безуспешно. Фейнман отказался от второго курса, который мог бы продлить его жизнь на несколько недель или месяцев. «Я скоро умру», — спокойно сказал он Мишель таким тоном, будто уже все решил. За ним присматривали, охраняя его покой, три женщины, любившие его дольше всех: Гвинет, Джоан и его двоюродная сестра Фрэнсис Левайн, которая жила с Фейнманами в Фар-Рокуэй. Морфий от боли и кислородная трубка — вот все, что ему теперь давали. Врачи сказали, что он проживет еще дней пять. Однажды он уже наблюдал за смертью, пытаясь смотреть глазами ученого: отмечая погружение в кому и прерывистое дыхание и представляя, как затуманивается лишенный кислорода мозг. Он ждал свою смерть, когда проводил эксперименты с выходом из тела в темной камере сенсорной депривации, когда признавался другу, что многому научил людей и смирился с непознаваемостью природы:

«Видишь ли, в чем дело: я могу принять сомнения, неопределенность и незнание. Мне кажется, гораздо интереснее жить и не знать, чем располагать ответами, которые, возможно, неверны. У меня есть примерные ответы, кое-какие убеждения и различная степень уверенности в разных вопросах, но я никогда не был ни в чем абсолютно уверен и о многих вещах ровным счетом ничего не знаю — например, стоит ли интересоваться, зачем мы здесь…

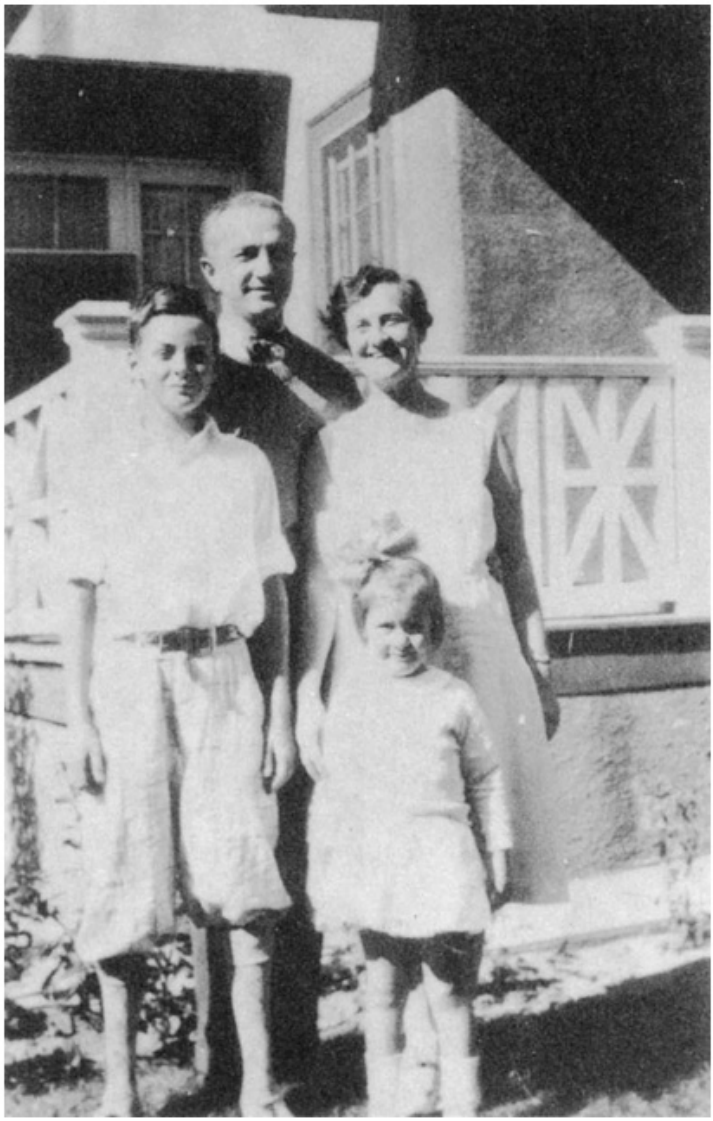
Мне необязательно знать ответ. Я не страшусь незнания, не боюсь исчезнуть в этой загадочной бессмысленной Вселенной, — ведь, насколько я могу судить, так и устроена реальность. Меня это не пугает».

Он начал терять сознание. Его взгляд затуманился, речь стала прерывистой. Гвинет видела, как он собрался с силами, чтобы произнести последние слова: «Хорошо, что умираешь только один раз. Это так скучно». После этого он больше не разговаривал и общался с родными, лишь кивая или сжимая им

руку. Незадолго до полуночи 15 февраля 1988 года он попытался вздохнуть, но кислородная трубка уже не помогла, и пространство, которое он занимал в этом мире, закрылось. Остался лишь след: всё, что он знал; *как* он знал.

Фото

На своем велосипеде в Фар-Рокуэй



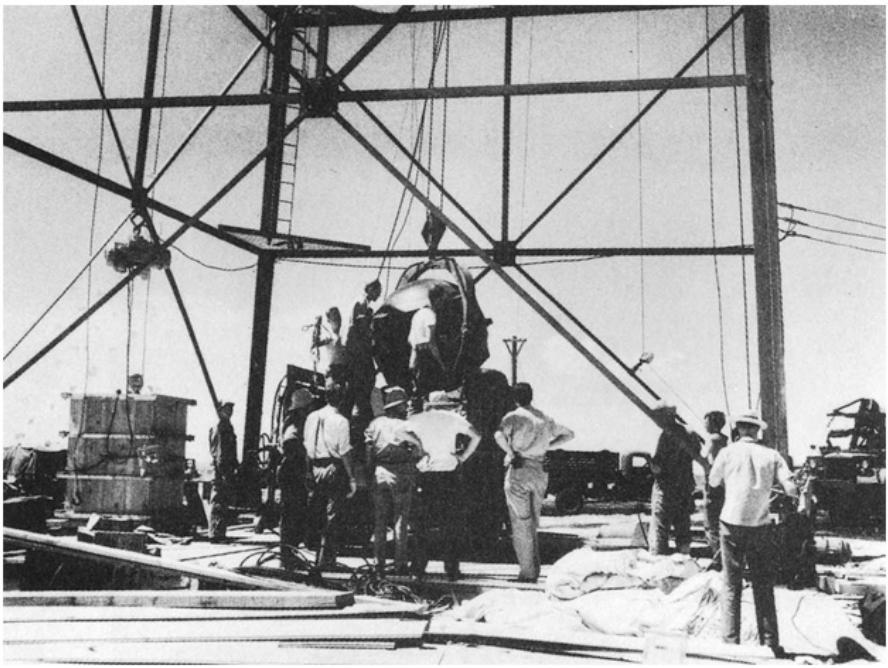
Мелвилл, Люсиль, Ричард и Джоан в доме, где они жили вместе с семьей сестры Люсиль. Нью-Бродвей, 14

Ричард и Арлин

В Пресвитерианском санатории

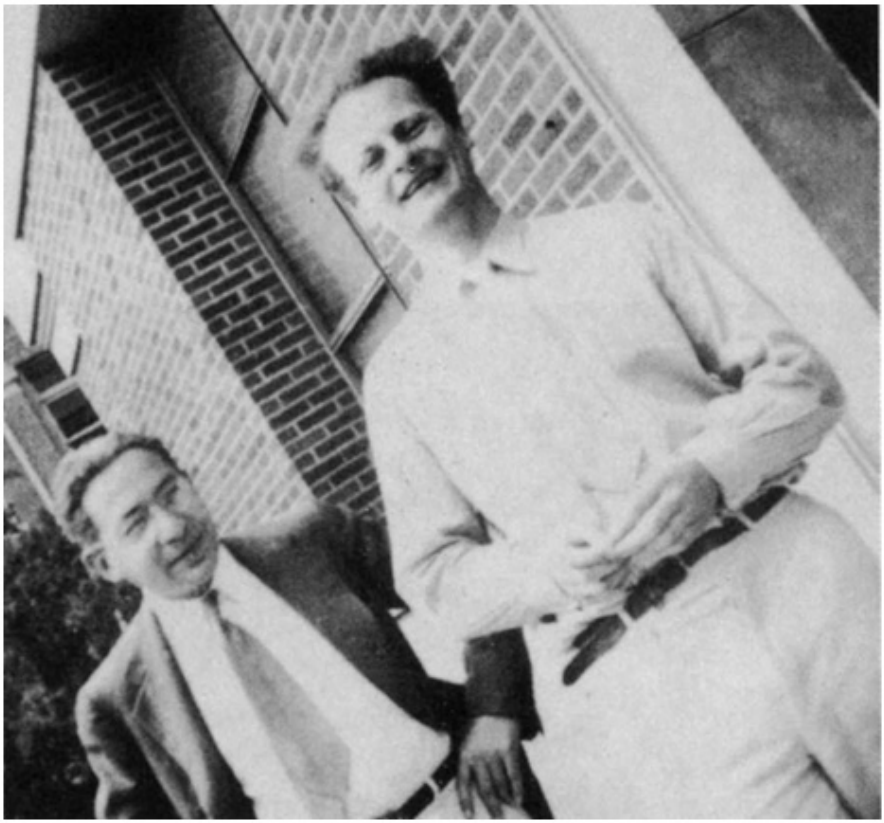
В Лос-Аламосе. «Я вскрыл сейфы, в которых хранилась вся секретная документация по проекту атомной бомбы…»

Сгорбившийся, рядом с Робертом Оппенгеймером. «Он, несомненно, самый талантливый молодой физик из присутствующих здесь. В этом все согласятся со мной»



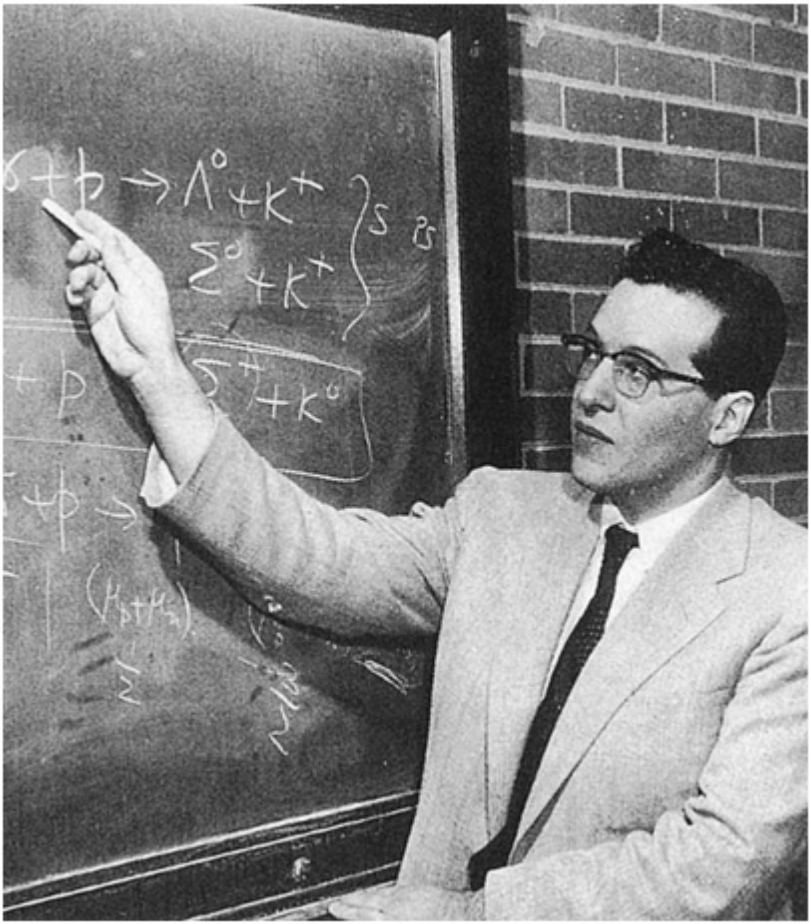
В ожидании испытаний «Тринити». «Мы, ученые, умные люди. Слишком умные. Вам недостаточно? Шесть квадратных

километров для одной бомбы недостаточно? Что ж, люди все еще работают над этим. Просто скажите, как много вам надо!»



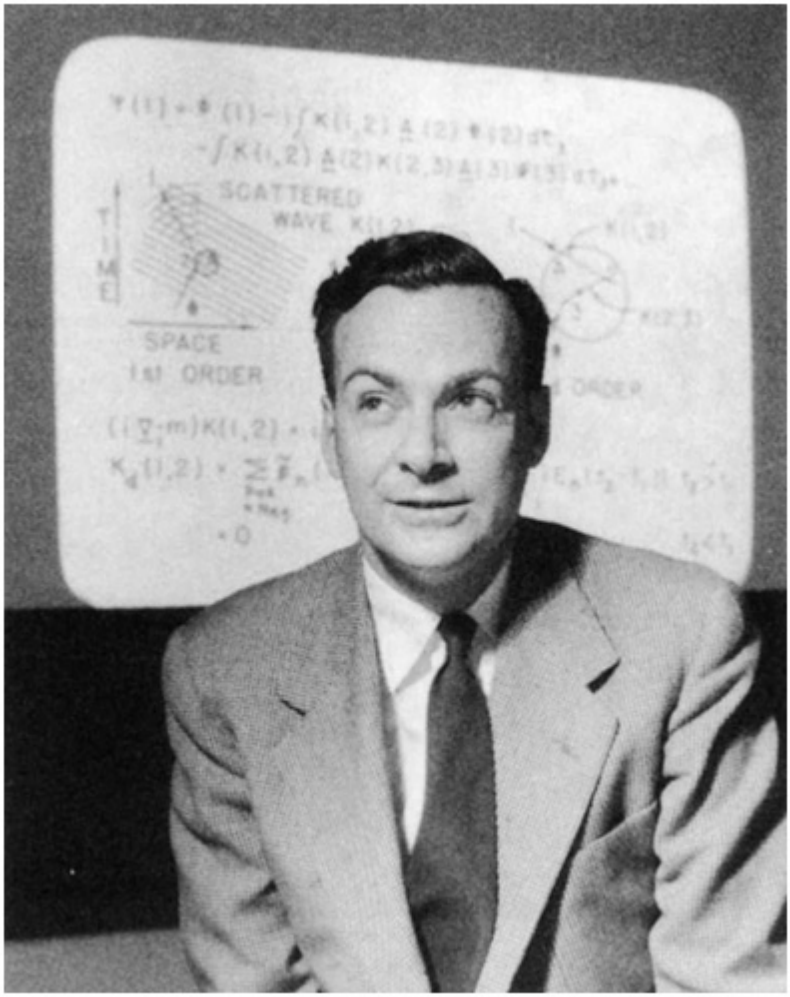
Исидор Раби (слева) и Ханс Бете. «Физики — это Питеры Пэны человечества», — сказал Раби

Конференция на Шелтер Айлэнд, июнь 1947 года. Уиллис Лэмб и Джон Уиллер (стоят), Абрахам Пайс, Фейнман и Герман Фешбах (на диване), Джулиан Швингер (на корточках)



Джулиан Швингер. «Им, казалось, овладел дух самого Маколея — он говорил выверенными фразами, тщательно сконструированными сложноподчиненными предложениями, не забывая привести всю конструкцию к логическому завершению»

Фейнман и Хидэки Юкава в Киото, 1955 год. Фейнман представил свою теорию сверхтекучести, странных, лишенных трения, свойств жидкого гелия — расширенную версию квантовой механики



В Калтехе перед слайдом презентации по движению античастиц вспять во времени

Виктор Вайскопф (слева) и Фримен Дайсон

Игра на бонго. «В тех редких случаях, когда меня приглашают куда-то поиграть на бонго, никто не считает нужным при представлении публике упомянуть, что я еще и физик-теоретик»

Разговор со студентом. Марри Гелл-Манн наблюдает. «Марри всегда выглядел как человек невероятно воспитанный… Дик — как невероятно естественный. Словно мальчишка из провинции, способный видеть то, что не в состоянии были разглядеть жители больших городов»

Со своим кумиром Полем Адриеном Морисом Дираком. Варшава, 1962 год

С трехлетним Карлом Фейнманом перед фотографами утром в день вручения Нобелевской премии. «Послушай, приятель, если бы я смог за минуту объяснить, что я сделал, это недостойно было бы Нобелевской премии»

Telefax **WESTERN UNION** Telefax

0 OBU432 WUD0103 SWB 13 19 94 PD INTL FR CD STOCKHOLM VIA RCA
21 1155
PROFESSOR RICHARD FEYNMAN PHYSICS DEPT
CALIFORNIA INSITITUTE OF TECHNOLOGY PASADENA (CALIF)
ROYAL ACADEMS OF SCIENCES TODAY AWARDED YOU AND TOMONAGA AND
SCHWINGER JOINTLY THE 1965 NOBEL PRIZE FOR PHYSICS FOR YOUR
FUNDAMENTAL WORK IN QUANTUM ELECTRODYNAMICS WITH DEEP PLOUGHING
CONSEQUENCES FOR THE PHYSICS OF ELEMENTARY PARTICLES STOP PRIZE
MONEY EACH ONE THIRD STOP OUR WARM CONGRATULATIONS STOP LETTER
WILL FOLLOW

ERIK RUNDBERG THE PERMANENT SECRETARY

Telefax **WESTERN UNION** Telefax
SENDING BLANK

CALL LETTERS FBC CHARGE TO Physics/[illegible] 20,000
Pd RCA Cable

ERIK RUNDBERG
ROYAL ACADEMS OF SCIENCES
STOCKHOLM, SWEDEN

YOUR CABLEGRAM HAS MADE ME VERY HAPPY!

RICHARD P. FEYNMAN

Send the above message, subject to the terms on back hereof, which are hereby agreed to

PLEASE TYPE OR WRITE PLAINLY WITHIN BORDER—DO NOT FOLD

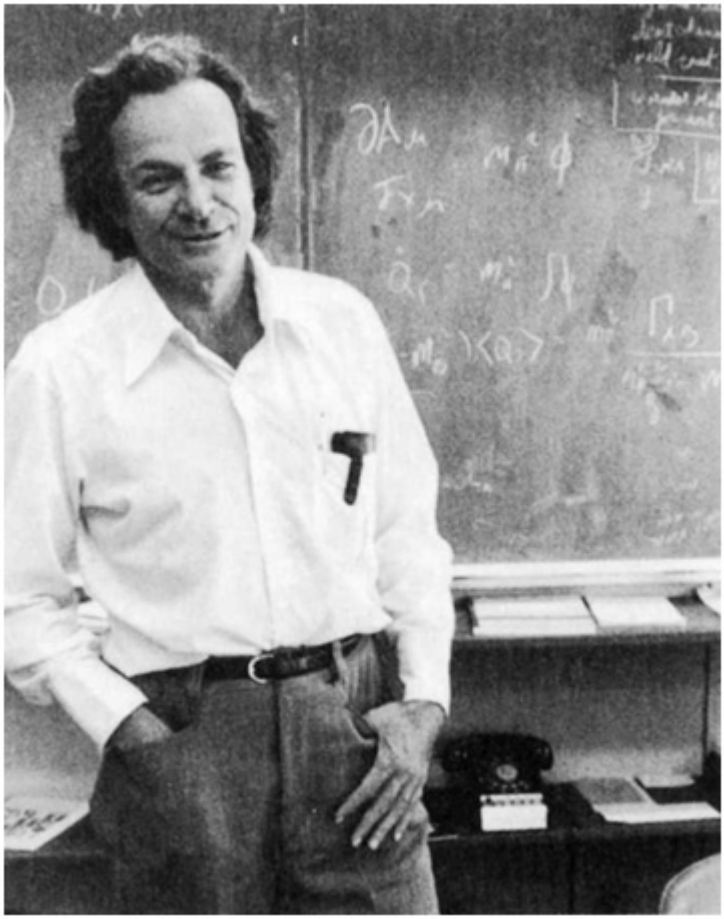
1269—(R 4-55)

На церемонии вручения Нобелевской премии. Стокгольм, 1965 год. С Гвинет Фейнман (вверху) и принцессой

Со Швингером. «Я подумал, ты будешь рада узнать, что я наконец обошел Швингера, — писал Фейнман матери после вручения премии, — но оказывается, он все понял еще три года назад. Конечно, ему досталась лишь половина медали, так что, полагаю, тебя это обрадует. Ты ведь всегда сравниваешь меня со Швингером»

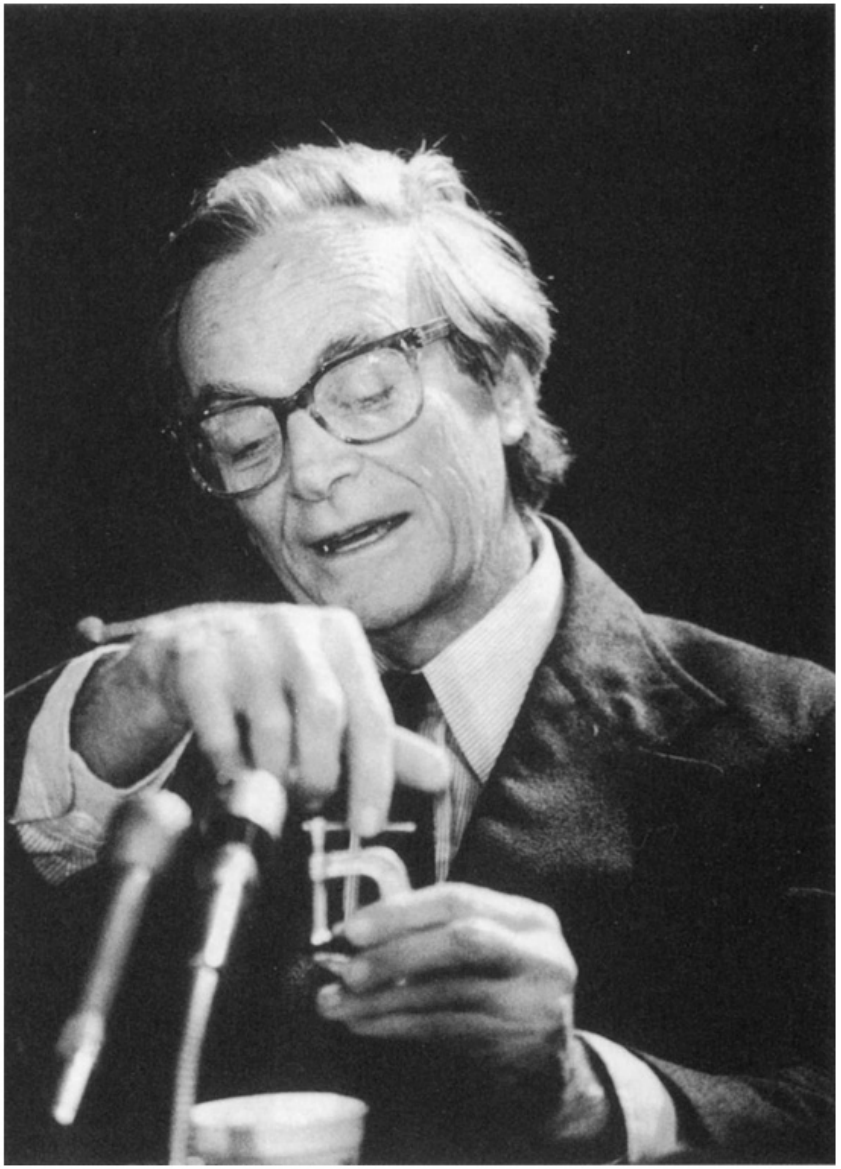
Синъитиро Томонага, работы которого в далекой Японии пересекались с новыми теориями Фейнмана и Швингера. «Почему же природа не представляется нам более ясной и понятной?»

С Карлом и Мишель (справа) во время похода в пустыне



У грифельной доски в Калтехе

В роли вождя в студенческой постановке «Юг Тихого океана»



10 февраля 1986 года. На разбирательстве президентской комиссии по поводу крушения космического шаттла. «Я поместил эту штуку из вашего уплотнителя в ледяную воду и вот что выяснил. Если какое-то время деталь находится под давлением, а потом давление прекращается, она не вытягивается обратно, а остается прежней формы. Другими словами, при температуре 32 градуса, по крайней мере, несколько секунд данный материал не способен восстанавливаться. Полагаю, это имеет значение»

Благодарности

Я НИКОГДА НЕ ВСТРЕЧАЛСЯ С ФЕЙНМАНОМ. В своей книге я использовал опубликованные и частично опубликованные записи, личные письма, заметки и другие документы, которыми поделилась со мной Гвинет Ховарт-Фейнман. В моем распоряжении были также письма, предоставленные членами семьи и друзьями. Я имел доступ к официальным бумагам из архива Калифорнийского технологического института в Пасадене, к материалам, собранным в библиотеке Нильса Бора в Американском институте физики в Нью-Йорке. Я также изучил недавно рассекреченные записи и документы из архивов Национальной лаборатории Лос-Аламоса. Остальные сведения я получил из работ Смита и Уилера в Американском философском обществе, Ханса Бете в Бруклинском историческом обществе и Корнеллском университете. Я изучил записи архива старшей школы Фар-Рокуэй, Гарвардского университета, работы Оппенгеймера из Библиотеки Конгресса, а также документы Массачусетского технологического института, Принстонского университета, Университета Рокфеллера и Национального ускорительного центра Стэнфорда.

Ведущие физики внесли большой вклад в написание этой книги, поделившись своими воспоминаниями в интервью, которые порой растягивались на целую череду встреч. Среди них Ханс Бете, Фримен Дайсон, Мюррей Гелл-Манн, Джулиан Швингер, Виктор Вайскопф, Джон Уилер и Роберт Уилсон.

Голос самого Фейнмана, безусловно, звучит в каждой его работе, а к концу жизни всюду, кажется, за ним следовали камеры и микрофоны. Но некоторые его интервью имеют особую ценность. Самая подробная и наиболее полная работа, главная, на которую стоит опираться любому изучающему жизнь Фейнмана, — это устное изложение под редакцией Чарльза Вейнера, написанное для Американского института физики в 1966 и 1973 годах. Я пользовался копией самого Фейнмана с его рукописными пометками и пояснениями. Я изучил хранящиеся в Американском институте физики записи интервью Бете, Дайсона, Уильяма Фаулера, Вернера Гейзенберга, Филипа Моррисона и других. Физик и историк Силван Швебер охотно поделился со мной записью интервью о развитии квантовой электродинамики и фейнмановском стиле визуализации. Лиллиан Ходдесон любезно предоставила очень полезное интервью Фейнмана для ее технической истории Лос-Аламоса. Роберт Криз дал мне запись интервью для его «Второго создания»

(The Second Creation), написанного в соавторстве с Чарльзом Манном. Кристофер Сайкс открыл доступ к полным версиям бесед, которые записывал для проекта *BBC* 1981 года «Радость познания». Салли Кригсман предоставила свои записи воспоминаний Фейнмана о Фар-Рокуэй.

Ральф Лейтон, благодаря которому свет увидели книги «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман» и «Какое тебе дело до того, что думают другие?», великодушно поделился аудиозаписями своих бесед с Фейнманом, растянувшихся почти на десять лет. Это истории, которые сам Фейнман пересказывал на протяжении всей жизни, изложенные очень точно, но здорово отредактированные. Я старался не опираться на них слишком сильно и надеюсь, это чувствуется в тексте книги.

Я много беседовал с членами семьи Фейнмана: Гвинет, Джоан, Мишель Фейнман и Фрэнсис Левайн. Хелен Так, бывшая его секретарем много лет, поделилась своими бесценными воспоминаниями и полезными комментариями.

Хочу отметить также всех коллег, студентов, друзей и биографов Фейнмана, кто помог мне собрать информацию, предоставил интервью, записи воспоминаний и в некоторых случаях копии страниц личных дневников. Йен Анбьёрн, Роберт Бэчер, Майкл Береджер, Барри Бэриш, Генри Баршхолл, Мэри Льюис Белл, Роуз Бете, Джерри Бишоп, Джеймс Бьёркен, Питер Керрутерс, Роберт Кристи, Майкл Коэн, Сидни Коулман, Монарх Катлер, Предраг Цвитанович, Сесил де Витт-Моррет, Рассел Доннели, Сидни Дрелл, Леонард Эйзенбад, Тимоти Феррис, Ричард Филд, Майкл Фишер, Эвелин Фрэнк, Стивен Фраучи, Эдвард Фредкин, Шелдон Глэшоу, Марвин Голдбергер, Дэвид Гудстейн, Фрэнсис (Роуз Макшерри) Грэхам, Уильям Грэхам, Жюль Гринбаум, Брюс Грегори, Коньерс Херринг, Симеон Хатнер, Альберт Хиббс, Дуглас Хофштадтер, Джеральд Холтон, Джон Джозеф, Дэниел Кевлз, Сандор Ковакс, Дональд Кутьяна, Джаниджой Ла Белль, Лео Лавателли, Ральф Лейтон, Чарльз Лайфер, Лейте Лопеш, Эдуард Мейзел, Энн Тилгмен Уилсон Маркс, Роберт Маршак, Леонард Мотнер, Роберт Мэй, Уильям Маклеллан, Карвер Мид, Николас Метрополис, Морис Майер, Филип Моррисон, Масако Онуки, Пол Олум, Абрахам Пайс, Дэвид Парк, Джон Полкинхорн, Бертон Рихтер, Джон Ригден, Майкл Риордан, Дэниэль Роббинс, Мэтью Сэндс, Дэвид Сэнджер, Роберт Шриффер, Теодор Шульц, Ал Секель, Барри Саймон, Сирил Стэнли Смит, Норрис Паркер Смит, Новера Херберт Спектор, Миллард Сусман, Кип Тоум, Янг-Цу Сай, Джон Тьюки, Том Ван Сант, Дороти Уокер, Роберт Уокер, Стивен Вайнберг, Чарльз Вейнер, Теодор Велтон, Артур Уайтман, Джейн Уилсон, Стивен

Вольфрам и Джордж Цвейг.

Конечно, не обошлось без двух обязательных работ в истории физики XX века «Физики» Дэниела Кевлса и «Внутренние пределы» Абрахама Пайса.

Особую благодарность хочу выразить Митчеллу Фейгенбауму и Силвану Швеберу за терпение и острый взгляд на предмет физики. В частности, большое спасибо Швеберу за то, что позволил прочесть его еще не законченную рукопись «Квантовая электродинамика 1946–1950: история американского успеха». Спасибо Предрагу Цвитановичу за позволение цитировать его легенды Страны квантовых полей. Роберт Чадуэлл Уильямс, биограф Клауса Фукса, прислал мне очень содержательные материалы из архивов Манхэттенского проекта. Я также многое узнал из бесед с Джозефом Штраусом и Хью Вольфом о гении, музыке и музыкальной теории.

Я благодарен Шерил Колберт за ее помощь в аналитической и исследовательской части. Эмилио Миллану за то, что он поделился важными газетными вырезками и другими документами.

И конечно, эта книга появилась на свет благодаря мастерству моего редактора Дэниеля Фрэнка и моего агента Майкла Карлайсла.

И как всегда, я в неоплатном долгу перед Синтией Кроссен, которая так долго выносила, среди прочего, постоянное присутствие еще одного человека в нашем доме.

Джеймс Глик.

Бруклин, Нью-Йорк.

8 июля, 1992.

Об авторе

Джеймс Глик родился в Нью-Йорке в 1954 году. Закончил Гарвардский колледж и на протяжении десяти лет работал репортером и редактором в New York Times. За свою первую книгу «Хаос. Создание новой науки» Глик получил в 1987 году премию National Book Award. Книгу перевели на восемнадцать языков. Глик также автор Faster. The acceleration of just about everything. Живет в Нью-Йорке.

Примечания

Сокращения

AIP: библиотека Нильса Бора, Центр истории физики, Американский институт физики.

BET: научные статьи Ханса Бете, Корнеллский университет.

CIT: архивы Калифорнийского технологического института.

CPL: «Характер физических законов» (The Character of Physical Law).

F-H: интервью Лиллиан Ходдесон и Гордону Бейму, 16 апреля 1979. Национальная лаборатория Лос-Аламос.

F-L: интервью Ральфу Лейтону. Запись любезно предоставлена Лейтоном.

F-Sch: интервью Сильвану Швеберу, 13 ноября 1988. Запись любезно предоставлена Швебером.

F-Sy: интервью Кристоферу Сайксу, записанное во время подготовки к телешоу «Радость познания» (The Pleasure of Finding Things Out), BBC-TV, 1981. Запись любезно предоставлена Сайксом.

F-W: интервью Чарльзу Вернеру, 4 марта 1966, 27–28 июня 1966 и 4 февраля 1973. Библиотека Нильса Бора.

FOI: досье ФБР на Фейнмана и документы других федеральных агентств. Доступ получен на основе Закона о свободе информации.

LANL: архивы Национальной лаборатории Лос-Аламос.

Lectures: «Лекции Фейнмана по физике» (The Feynman Lectures on Physics).

LOC: библиотека Конгресса.

MIT: библиотеки Массачусетского технологического института.

NL: «Развитие пространственно-временного взгляда на квантовую электродинамику» (The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics). Нобелевская лекция (Фейнман 1965a; цит. Фейнман 1965b и 1965c). Для удобства номера страниц указаны согласно версии Уивера (Weaver) 1987 года.

OPP: научные статьи Д. Оппенгеймера. Библиотека Конгресса.

PERS: личные документы, к которым получил доступ автор.

PUL: библиотеки Принстонского университета.

QED: «КЭД: странная теория света и вещества» (The Strange Theory of Light and Matter).

SMY: научные статьи Г. Смита, Американское философское

общество.

SYJ: «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» (Surely You're Joking, Mr. Feynman!)

WDY: «Какое тебе дело до того, что думают другие?» (What Do You Care What Other People Think?)

WHE: научные статьи Д. Уилера, Американское философское общество.

ПРОЛОГ

Рассказ о встрече в горах Поконо основан на нескольких интервью с ее участниками (Хансом Бете, Робертом Маршаком, Абрахамом Пайсом, Джулианом Швингером, Виктором Вайскопфом и Джоном Арчибальдом Уилером), а также на воспоминаниях Ричарда Фейнмана, опубликованных в журнале Phisycs Today, которыми он поделился в интервью Чарльзу Вернеру. Также в основе — записи и комментарии Уилера, переписка Роберта Оппенгеймера, исторические эссе Силвана Швебера (1985 года и последующие) и мои собственные впечатления от посещения этого места.

…мы ни в чем не можем быть уверены. Feynman to Arline Feynman, 9 May 1945, PERS.

…угнетала мысль. Feynman 1975, 132.

…косо поглядывали. AIP, 423.

…то ли гений, то ли шут. Freeman Dyson to his parents, 8 March 1948; Dyson, interview, Princeton, N. J.

…никаких записей. Несмотря на это, Джон Уилер все-таки сделал, а позднее распространил, несколько десятков страниц записей. Wheeler 1948.

…правило. "Addresses," notebook, PERS.

…самого одаренного. «Он был самым одаренным молодым физиком, и все это знали». Smith and Weiner 1980, 268.

…ключевого уравнения. Hans Bethe, interview, Ithaca, N. Y.

…нажимал кнопку в игре. Виктор Вайскопф привез игрушечные поезда из России. «Игра заключалась в следующем: тот, у кого кнопка, должен избегать столкновений, в то время как другой участник, наоборот, должен сделать все, чтобы столкнуть поезда. Это была самая нервная игра, которую только можно вообразить, и Дик погружался в нее полностью, независимо от того, какая роль ему доставалась». Weisskopf, interview, Cambridge, Mass.

…а как же принцип запрета? F-W, 471.

…они унитарны? F-W, 472.

…удивительный взгляд. Dyson 1979, 62.

…слава богу. W. H. Auden, “After Reading a Child’s Guide to Modern Physics,” Selected Poetry of W. H. Auden (New York: Vintage, 1971), 214.

…Фейнман ненавидел это стихотворение… Из письма Ричарда Фейнмана миссис Вейнер. Feynman to Mrs. Robert Weiner, 24 October 1967, CIT. Оден писал: «Эту нашу страсть к открытиям вряд ли кто-то может отрицать». Фейнмана возмущало продолжение: «Но возрадовался бы я больше, если бы яснее понимал, для чего нам знания нужны». Фейнман говорил: «Мы жаждем знаний, чтобы лучше понимать природу, и, отрицая ценность знаний, современный поэт напрямую признает свое невежество».

…ногу в трясину. Albert R. Hibbs, interview, Pasadena, Calif.

…немного странно. Snow 1981, 142–143.

…вершину айсберга. Morrison 1988, 42.

…неизгладимое впечатление: David Park, personal communication.

…достичь чего угодно: Sidney Coleman, interview, Cambridge, Mass.

…стоять на своих двоих: Kac 1985, 116.

…два типа гениев: Там же, XXV.

…возмутил семью: E.g., Gweneth Feynman, interview, Altadena, Calif.; Gell-Mann 1989a, 50.

…не Фейнман, конечно, но все же. Morrison 1988, 42.

…полусерьезную дискуссию. Coleman, interview.

…книга вторая, глава 41, абзац 2. D. Goodstein 1989, 75.

…философы всегда делают… CPL, 173.

…не уверен на сто процентов. Feynman 1982, 471.

…не спрашивать себя. CPL, 129

…природа использует. Там же, 34; draft, PERS.

…заинтересовать правительство: U. S. Department of Commerce Rescinding Order, 7 January 1966, CIT.

…проводил тренировку поэтапно. Ralph Leighton, interview, Pasadena.

…выдать двумя руками. Theodore Schultz, interview, Yorktown Heights, N.Y.

…честнейший человек. Schwinger 1989, 48.

ФАР-РОКУЭЙ

Члены семьи и друзья детства Ричарда Фейнмана любезно поделились со мной копиями писем с 1920 по 1930 год. Я

благодарен Джоан Фейнман, Фрэнсис Левайн, Жюлю Гринбауму (брату Арлин), Леонарду Мотнеру, Джерри Бишопу, Мэри Ли и Новере Спектру. В старшей школе Фар-Рокуэй, Бруклинском историческом обществе, школьных газетах, публикациях Торговой Палаты и других документах того времени я нашел много полезной информации. Салли Крейгсман и Чарльз Вейнер с радостью предоставили записи интервью, которое они брали у Люсиль Фейнман.

…собрал приемник. F-W, 35.

…атмосферные условия позволяли. SYJ, 5.

…Эйнштейн показал. Einstein 1909.

…эфир скрывался. Weyl 1922, 172.

…«Тень», «Дядю Дона». F-W, 35.

…со старого автомобиля «Форд». SYJ, 4.

…в экстренных случаях. Frances Lewine, interview, Washington, D.C., and Far Rockaway.

…мусорной корзины. Lucille Feynman to Feynman, 8 August 1945, PERS.

…его сестра. Joan Feynman, interview, Pasadena.

…по дороге в библиотеку. Feynman, interview conducted by Sali Ann Kriegsman, 27 October 1975.

…«В детстве мне казалось». Kazin 1951, 8–10.

…все хорошее сосредоточено. Feynman — Kriegsman.

…чувствовал себя неловко. Evelyn Frank, interview, Marina del Rey, Calif.

…«Если мы стоим на берегу». Lectures, II-2-1.

…песок отличается от камней? Там же.

…когда он вернулся. Gweneth Feynman, interview, Altadena; Feynman — Kriegsman.

…эти маленькие шапочки. Feynman — Kriegsman.

…таков был мир. Там же.

…Люсиль была дочерью. Lucille Feynman, interview conducted by Charles Weiner, MIT oral-history program, 4 February 1981.

…не только связали себя узами брака. Там же.

…делить шкуру неубитого медведя. Там же.

…до того как малыш научился ходить. F-W, 7–8.

…заговорил только после двух. Lucille Feynman — Weiner.

…семь с половиной метров в высоту. F-Sy.

…мать страдала. Joan Feynman, interview.

…через несколько дней мальчик. Там же.

…свидетельство о рождении и шапочку. Там же.

…возвращаясь вечером домой. Lewine, interview.

…пара иммигрантов. Joan Feynman, interview conducted by Charles Weiner, MIT oral-history program, 30 July 1981; Lewine,

interview.

…«Смотри!» Joan Feynman, “Relinquishing the Aurora,” letter, Eos, 1989, 1649.

…подсоединил свою лабораторию. F-W, 35–37.

…«Работает!» Joan Feynman, interview.

…это того стоит. F-W, 34.

…принять вызовы судьбы. Melville Feynman to Feynman, 10 September 1944, PERS.

…удается чего-то достичь. Там же.

…отправлялся на прогулку с сыном. F-W, 14.

…«Видишь вон ту птицу?» WDY, 13–14.

…«Этого никто не знает», — ответил Мелвилл. Из интервью Кристоферу Сайксу для проекта BBC «Радость познания», 1981. F-Sy; cf. “Inertia,” notes, n.d., CIT: «Является ли инерция истинной фундаментальной силой, требующей всегда более глубокого анализа? Или же она происходит из других существующих сил, таких как гравитация или электричество?»

…способ решать задачи. F-W, 15.

…«если два в степени икс…» Joan Feynman-Weiner.

…курс алгебры. Leonard Mautner, interview. Pacific Palisades, Calif.

…его показатель IQ. Feynman 1965d, 15.

…интеллектуальной пустыней. F-W, 39.

…уравнение с четырьмя неизвестными. Там же, 23 and 39.

…все, что Фейнман запомнил. Там же, 38.

…энергия важна. “Energy,” poem, n.d., AIP.

…наука ставит под сомнение. “We Are Forgetful,” poem, n.d., AIP.

…для неженок. F-L; edited version in SYJ, 67.

…один вид мяча. WDY, 24.

…по-настоящему тревожно. Там же, 21.

…его первый набор. F-W, 33.

…прослыть паинькой. Там же, 21; Feynman 1965d, 11.

…в клубе физиков. The Dolphin, Far Rockaway High School, June 1935, 33.

…соревнования по математике. SYJ, 10–11; Jerry Bishop, telephone interview; Novera H. Spector, telephone interview.

…громкий выдох. Feynman 1965d, 12.

…первое место. The Dolphin, Far Rockaway High School, June 1935, 33.

…двое учеников. F-W, 63; Mautner, interview.

…мистер Огсбери сдался. Harold I. Lief to Ralph Leighton, 10 December 1988.

…чокнутый гений. The Dolphin, Far Rockaway High School,

June 1935.

…некоторые наблюдения. Melsen 1952, 22.

…сохранять четкие формы. F-W, 46.

…состоят из атомов. Lectures, I-1-2.

…всецело верящих в эту теорию. Bohr 1922, 315.

…теоретическая химия. Encyclopaedia Britannica, 13th ed., 1926, 870.

…масса его остается неизменной. Boscovitch 1922, 36; Park 1988, 200–201.

…химической физикой. Slater 1975, 193.

…«Мы теперь должны пересмотреть не только наше понимание классической физики…» Бор пытался привлечь внимание к своему объяснению квантовой механики. Пресса с радостью поддерживала его в этом, хотя с заголовками возникали проблемы. Уильям Лоуренс из New York Times писал с оптимизмом: «Ожидается, что новая теория встанет в один ряд с относительностью и квантовой механикой как революционный прорыв в науке… Профессор Бор после долгих раздумий об основных и второстепенных задачах в области физики и интеллектуальной деятельности наконец открыл неизбежную двойственность… Другими словами, сам процесс познания одного из аспектов природы делает невозможным познание другого». «История доктора Джекила и мистера Хайда, применимая к реальности». “Jekyll-Hyde Mind Attributed to Man,” New York Times, 23 June 1933, 1.

…по такому случаю. Joan Feynman-Weiner, 28–29.

…«Знания — сила». F-W, 78.

…Нью-Йорк 1982 года. Chase 1932, 13.

…подпитывается электричеством. William A. Laurence, “Brain Phone Lines Counted as 1 Plus 15 Million Zeroes,” New York Times, 25 June 1933.

…в день открытия выставки. Dedmon 1953, 334.

…собраны плоды. “Chicago Fair Opened by Farley; Rays of Arcturus Start Lights,” New York Times, 28 May 1933.

…на высоте 183 метра. “Science in 151 Words,” New York Times, 4 June 1933.

…успех теории Эйнштейна. Cf. Kevles 1987, 175, and Pais 1982, 309. Эйнштейн, кажется, не упускал возможности это подчеркнуть.

…звезды не там. New York Times, 9 November 1919, quoted in Pais 1982, 309.

…заголовки газет. Pais 1982, 309.

…более сотни книг. Clark 1971, 247.

…по подводным кабелям. Kevles 1987, 175.

…пространство Эйнштейна. Quoted in Clark 1971, 242.

…в Америке нет физиков. Raymond T. Birge to John van Vleck, 10 March 1927, quoted in Schweber 1986ft, 55–56.

…я верю в это так же. Quoted in Kevles 1987, 168.

…на пляже он несколько дней. Lewine, interview; Joan Feynman, interview; Joan Feynman-Weiner.

…он осознал, что лежит. F-W, 117.

…ужасного грубияна. Там же, 118

…чувствовать себя нелепо. WDY, 20–23.

…с началом Великой депрессии. Joan Feynman-Weiner.

…музей Метрополитен. Там же, 31–32.

…ковырялся в радиоприемниках. “Modernistic Radios,” New York Times, 4 June 1933.

…перепаивал проводку. F-W, 105–107.

…чинит радио. SYJ, 3.

…«Что ты делаешь?». F-W, 107–108; SYJ, 7–8.

…найти учебник математики. Feynman 1965d, 10.

…мальчик по имени Морри Джейкобс. Feynman to Morris Jacobs, 27 January 1987, CIT.

…нравилось задавать вопросы. Feynman 1965d, 11.

…Швингер знал, где достать книги. Schweber, forthcoming.

…The Physical Review. Kevles 1987, 218.

…аккуратно напечатал. Julian Schwinger, interview, Bel Air, Calif.; Schwinger 1934. Позднее (1983) он сказал, что «повторял мудрость своих стариков, чтобы потом быть отвергнутым».

…на одном из ужинов. Marvin Goldberger, interview, Pasadena.

…долго сожалел. F-W, 113; WDY, 33.

МАССАЧУСЕТСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Самые подробные и глубокие интервью получились с однокурсниками и товарищами по студенческому братству Фейнмана Ти Эй Велтоном, Коньерсом Херрингом, Джоном Джозефом, Монархом Катлером, Леонардом Мотнером, Морисом Майером и Дэниелем Роббинсом. Очень полезна была рукопись Велтона «Воспоминания» из архива Калтеха и хранящийся в Американском институте физики блокнот, в котором они с Фейнманом размышляли над квантовой механикой. Конспекты из Массачусетского технологического и некоторые другие научные записи сохранились в личном архиве Фейнмана. Институт предоставил несколько записей и годовые альбомы. Джоан Фейнман позволила прочесть письма ее брата ей и родителям. Среди других важных источников: кафедра физики

в Массачусетском технологическом, воспоминания Джона Слейтера (1975) и Филипа Морса (1977), биографический очерк о Слейтере Швебера (1989). А также: «Зарождение американской квантовой физики» Кевлза (1987), готовящаяся к изданию работа Швебера, записи Сопка (1980), «Исследования принципа наименьшего действия». Лекции II-19 Парка (1988), Грегори (1988), «КЭД — странная теория света и вещества», работы «Об антисемитизме в науке» Сильбермана (1985), Стейнберга (1971), Липсета и Лэдда (1971), Добковски (1979) и яркая переписка преподавателя Фейнмана в Массачусетском технологическом с Гарри Смитом (из архивов Массачусетского института и секретных документов библиотеки Принстона).

…потеряны для математики. Heisenberg 1971, 15–16.

…американские математики. Menge 1932, 11.

…Фейнман перешел. F-W, 131.

…однако Великая депрессия. Kevles 1987, 250–251.

…назвал кошмаром. Там же.

…непреодолимое желание. Menge 1932, 10.

…несмотря на антисемитские настроения. Исидор Раби, к примеру, вспоминал, с какой неохотой его приняли в 1929 году в Колумбийском университете как первого еврея: «То, что происходило в американских университетах, походило больше не на работу кафедр, а на клубы, очень закрытые, семейные … И конечно, евреи совершенно в них не вписывались». Quoted in Schweber, forthcoming.

…представителем американской молодежи. Slater 1975, 131.

…незначительные открытия. Там же, 130–135.

…«Не люблю мистику». Slater, oral-history interview, AIP. Quoted in Schweber 1989, 53.

…философский подход. Quoted in Schweber, forthcoming.

…изучают результаты. Там же.

…кафедру теоретической физики. Karl T. Compton, “An Adventure in Education,” New York Times, 15 September 1935.

…дюжину аспирантов. Morse 1977, 125.

…объясняли студентам. Slater and Frank 1933, V–VII.

…уравнение Бернулли. F-W, 136.

…все заполняли. Welton 1983; F-W, 137.

…в борьбе против. Там же.

…«Мистер Фейнман, как бы вы…» Там же. Велтон отметил, что решения Фейнмана были «всегда верными и зачастую оригинальными» и добавил: «Стрэттон никогда не доверял свои лекции мне или другим студентам».

…находящийся на пляже. QED, 51–52.

…наш друг Дирак тоже. Цитируется по готовящейся рукописи

Швебера.

…не может атом. Descartes 1955, 264.

…в то же время. Там же, 299.

…остроумные методы расчетов. F-W, 139.

…с принципом наименьшего действия. Lectures, II-19.

…настоящим чудом. Там же, II-19-2.

…заранее знает. Gregory 1988, 32–33.

…это не совсем те категории. Park 1988, 250.

…«Не в малых деталях…» Quoted in Jourdain 1913, 11.

…сформулировал этот вопрос. Park 1988, 252.

…никому не придет в голову. The Tech, MIT, 1938, 275.

…страхи были побеждены. Там же.

…процесс ухаживания. SYJ, 17.

…новые члены братства. SYJ, 19; F-W, 200–201.

…унижать новеньких. Daniel Robbins, telephone interview.

…второй и третий этажи. Maurice A. Meyer, telephone interview.

…приводил их в такое волнение. SYJ, 18.

…учеба стояла превыше всего. Michael Oppenheimer, interview, New York.

…устраивал такой расклад. SYJ, 18.

…несколько часов кряду. Robbins, interview.

…нарисовать попугая. Lewine, interview.

…избавила Ричарда от необходимости. SYJ, 18.

…его поведение не обрадовало. Meyer, interview.

…не первое его предложение. F-W, 302 and 122.

…важность науки для авиации. WDY, 31.

…судьбоносных моментов. Feynman to Lucille Feynman, 9 August 1945, PERS; Weisskopf, interview.

…учебное заведение оправдывало. F-W, 164.

…не более чем головная боль. Там же.

…Ричард даже сжульничал. Как Фейнман признался тридцать лет спустя, ему было стыдно. «Я как будто на время потерял всяческие моральные ориентиры». Из интервью Чарльзу Вернеру. F-W, 164.

…почему бы профессорам английского. Ibid, 165.

…прочел Джона Милла. F-L; SYJ, 30.

…прочел Томаса Гексли. F-W, 170–173.

…что касалось физика. «Физические дисциплины, изучаемые в Массачусетском технологическом институте», typescript, PUL.

…которого читала Арлин. F-W, 165–166.

…все о несовершенстве. WDY, 29.

…люди, подобные Декарту. F-W, 166.

…полоску бумаги. WDY, 29–30.

…и открытии неизвестно. Gilbert, De Magnete (1600).

…«с точки зрения премьер-министра». F-W, 167.

…общий тон задавал. Schweber 1989, 58.

…«не с точки зрения философов». Harvey, De Motu Cordis et Sanguinis (1628).

…поднимался в свою комнату. F-W, 169–170.

…почему мне интересно. Там же, 170; F-L (SYJ, 33).

…смятение развеялось. F-L.

…элементарную теорию. SYJ, 36.

…Ричард просиживал. Там же, 32.

…много суеты. F-W, 166.

…время само по себе и пространство само по себе. Quoted by Feynman in Lectures, I-17-8.

…наименьшей доли энергии. Dirac 1971.

…окончательно разрушить. Quoted in Park 1988, 318.

…называл бессмыслицей. Dirac 1971, 41.

…позднего эротического подъема. Pais 1986, 251–252.

…пересылали друг другу по почте. Feynman and Welton 1936–1937.

…вслед за Шрёдингером. F-W, 146.

…страстно хотелось. Feynman and Welton 1936–1937; F-W, 141.

…Велтон работал. F-W, 210–211.

…клацающий, динькающий звук. Welton 1983; Welton, interview; F-W, 142–144.

…производить вычисления быстрее. F-W, 152–153.

…я просто взял. Quoted in “Bright Flashes from a Mind of Marvel,” Washington Post, 6 January 1990.

…абсолютной уверенностью. Heisenberg 1971, 11.

…проявлением единого целого. Там же, 10.

…хотел овладеть мастерством. F-W, 154–156; F-L.

…Энрико Ферми собрал. Segrè 1980, 204–206; Rhodes 1987, 210–212.

…медленные нейтроны. Enrico Fermi, “Artificial Radioactivity Produced by Neutron Bombardment,” in Weaver 1987, 2:74.

…Фейнман и Велтон, студенты младших курсов. F-W, 162.

…один основной текст. Bethe et al. 1986.

…рассеяние солнечного света. F-W, 176.

…всего лишь на шаг. Lectures, I-32-8.

…туманным днем. F-W, 176.

…первая научная публикация. Vallarta and Feynman, 1939.

…провокационная и смелая мысль: «Давайте возьмем частицу, помещенную в элемент с объемом dV в материи, рассеивающейся в направлении, заданном вектором R. Пусть

вероятность возникновения в направлении R» будет представлена функцией рассеяния f(R,R») на единицу полного телесного угла. И наоборот, частица, входящая по направлению R», будет иметь вероятность возникновения f(R»,R). Предположим, что рассеятель (магнитное поле звезды) имеет противоположные свойства, так что $f(R,R») = f(R»,R)$. В данном случае свойства в достаточной степени представлены знаком частицы, который изменяется вместе и переменой направления движения. Это значит, что вероятность движения электронов по любой траектории равняется вероятности движения позитронов в обратном направлении…». Vallarta and Feynman. 1939.

…«эффект подобного рода… нельзя было прогнозировать». Heisenberg 1946, 180.

…«Вы — последнее слово». F-W, 178.

…поймал однокурсника. Monarch L. Cutler, telephone interview and personal communication; F-W, 179; Cutler, "Reflection of Light from Multi-Layer Films," senior thesis, MIT, 1939. The professors were Hawley C. Cartwright and Arthur F. Turner.

…олимпиаде Патнема. Joseph Callian, Andrew Gleason, telephone interview.

…товарищ Фейнмана по студенческому братству. Robbins, interview.

…позднее Фейнман узнал. F-W, 191.

…сначала он хотел остаться. Там же, 193–94.

…«почти невероятны». John C. Slater to Dean of Graduate School, Princeton, 12 January 1939, PUL.

…лучшим студентом Philip Morse to H. D. Smyth, 12 January 1939, PUL.

…неограненный алмаз. Wheeler 1989.

…никогда раньше не встречали. Там же.

…оценки по физике были безупречны. Выписка из протокола выпускных экзаменов: «Фейнман, Ричард Ф., 1918 г. р. Помимо достижения высоких результатов по физике, набрал максимально возможное количество баллов по математике — 99 %. С другой стороны, 69 % всех проходивших тестирование обошли его по устной речи, 85 % по литературе и 93 % по изобразительному искусству. Фейнман также подал заявление в Калифорнийский университет в Беркли. На кафедре пояснили, что согласны принять его только в качестве восьмого кандидата на годовую стипендию в 650 долларов». Из переписки Фейнмана с Робертом Спроулом (30 марта 1939 года) и Раймондом Бирджем (1 июня 1939 года).

…«Фейнман еврей?» H. D. Smyth to Philip Morse, 17 January 1939, MIT.

…«Фейнман, конечно, еврей». Slater to Smyth, 7 March 1939, PUL.

…«ни внешне, ни манерами». Из письма Морса Смиту (17 января 1939 года). Принстон удалось убедить. Позднее Смит слышал об успехе Фейнмана в олимпиаде имени Патнема и написал: «Коллеги продолжают убеждать меня в том, что Фейнман не будет учиться у нас со следующего года, так как он выиграл стипендию Гарварда. Я же по-прежнему утверждаю, что, пока не получу от него никаких опровержений, он будет учиться у нас, пусть даже ему предложат пост президента Гарварда».

…«Нам отлично известно…». Quoted in Silberman 1985, 90.

…«Они гордились». Francis Russell, “The Coming of the Jews,” quoted in Steinberg 1971, 71.

…«Потому что, брат мой, он сгорает во тьме». Thomas Wolfe, You Can’t Go Home Again (New York: Dell, 1960), 462. Quoted in Kevles 1987, 279.

…также было очевидно. Sopka 1980, 4:105.

…«Нью-йоркские евреи». Davis 1968, 83.

…разочарованный Оппенгеймер. J. R. Oppenheimer to Raymond T. Birge, 4 November 1943, 26 May 1944, and 5 October 1944, in Smith and Weiner 1980, 268, 275, and 284.

…Фейнман заподозрил. Silberman 1985, 91–92; F-W, 198.

…в физике твердых тел. C. Smith 1981, 121–122.

…кристаллическую структуру. Там же, 122.

…не задумывался о структуре. Feynman 1939a and b.

…следует подчеркнуть. Feynman 1939a, 3; Conyers Herring, telephone interview.

…ему не нравилось. Robbins interview.

…поэтому был удивлен. F-W, 186. Слейтер в своих пособиях предпочитал использовать формулировку «теорема Фейнмана» вплоть до 1963 года, хотя и узнал, что немец Гельман сделал такое же открытие двумя годами раньше. Slater 1963, 12–13; H. Hellmann, Einführung in die Quantenchemie (Leipzig: Deuticke, 1937).

…это все, что я помню из того дня. F-W, 196.

…некоторым казалось. Silvan S. Schweber, interview, Cambridge, Mass.

…«Мой сын Ричард оканчивает». Morse 1977, 125–126.

…Морс пытался сдержать смех. Там же. Хотя Морс этого и не сказал, Мелвилл беспокоился, не станут ли антисемитские настроения препятствием для карьеры физика. Несколько лет спустя он выразил те же опасения в беседе с Джоном Уилером. (Wheeler 1989).

Благодаря Уилеру и его студентам мне удалось лучше понять их отношения с Фейнманом. В этом помогли воспоминания самого Уилера 1979 года и Клоудера 1972 года. Уилер предоставил черновик своей речи для поминальной службы 1989 года. Баршалл, Леонард Эйзенбад, Симеон Хатнер, Пол Олум, Лео Лавателли и Эдуард Мейзел поделились воспоминаниями о 30–40-х годах, проведенных в Принстоне. Джон Тьюки и Мартин Гарднер пролили свет на историю появления флексагонов. Роберт Уилсон рассказал о проекте изотрона, привлечении Фейнмана к работе в Манхэттенском проекте и о том, что было дальше. Рассекреченные документы по изотрону, включая техническую документацию, составленную Фейнманом, содержатся в записях Смита в Американском философском обществе.

…черные дыры не имеют волос. Wheeler and Ruffini 1971.

…нет никакого закона, кроме закона. In Mehra 1973, 242.

…хожу на двух ногах. John Archibald Wheeler, interview, Princeton, N. J.

…ищите самое странное. Boslough 1986, 109.

…отдельные события. Quoted in Dyson 1980, 54. Как говорит Дайсон, «похоже на «Беовульфа», но это определенно Уилер».

…за фасадом джентльмена. In Steuwer 1979, 214–215.

…в детстве он. Bernstein 1985, 29; Wheeler 1979a, 221.

…Слейтер и Комптон придерживались. Slater 1975, 170–171.

…Уилер все еще помнил. Wheeler 1979a, 224.

…Уилер, встречавший Бора. Там же, 272.

…весь вечер пытались. Bernstein 1985, 38.

…слишком занят. H. H. Barschall, telephone interview.

…«Похоже, ты намереваешься…» F-W, 209; Leonard Eisenbud, telephone interview.

…В следующий раз, когда Баршалл встретился с Фейнманом. Barschall, interview.

…манера Уилера сверяться. F-W, 194 and 215–216.

…«неторопливым, привлекательным». Mizener 1949, 34 and 38.

…«Чопорная деревня». Einstein to Queen Elizabeth of Belgium, 20 November 1933, quoted in Pais 1982, 453.

…под академической мантией. SYJ, 49.

…математик Карл Людвиг Зигель. Dyson 1988b, 3.

…вы, конечно, шутите. F-W, 209; SYJ, 48–49.

…плащ, присланный родителями. Feynman to Lucille Feynman, 11 October 1939, PERS.

…попробовал заниматься греблей. Там же.

…приходили гости. Feynman to Lucille Feynman, [?] October 1940, PERS.

…пятнадцать долларов в неделю. Feynman to Lucille Feynman, 3 March 1940, PERS.

…с восхищением они слушали. Edward Maisel, telephone interview; cf. F-W, 254.

…был ассистентом Уилера. Feynman to Lucille Feynman, 11 October 1939; Feynman notes on nuclear physics, H. H. Barschall papers, AIP.

…часть выбранной им профессии. Schweber, forthcoming.

…невероятному выводу. Dirac 1935, 297; NL, 434.

…Вильгельм Рентген, обнаруживший существование. Dresden 1987, 11.

…Фейнман не до конца понимал. F-W, 230.

…он допустил. NL, 434.

…«встряхни что-то одно…» Там же.

…напряжение в мембране. Weinberg 1977a, 19.

…Уилера заинтересовала. Wheeler, interview.

…нравилось угадывать. SYJ, 69–71.

…подкалывать присутствующих. F-L, for SYJ, 71.

…статья Мартина Гарднера «Флексагоны». Gardner 1989; Albers and Alexanderson 1985.

…Дорогая редакция. Quoted in Gardner 1989, 13–14.

…целые дни. SYJ, 77.

…«Не мешай мне!» F-L; WDY, 56.

…человеческих сперматозоидов. Maisel, interview.

…они предположили, что… их мозг. WDY, 55–57.

…получали удовольствие. John Tukey, interview, Princeton, N. J.

…продекламировал несколько стихотворений. Maisel interview.

…«Ритм — один из основных проводников». “Some Notes on My Own Poetry,” in Sitwell 1987, 131.

…Вселенная расцветает в моей голове. “Tattered Serenade,” in Sitwell 1943, 19.

…все ясно с первого взгляда. F-L.

…когда у Уилера спросили. SYJ, 51; Wheeler 1989, 2–3.

…физическая лаборатория Палмера. Princeton University Catalogue: General Issue, 1941–1942. PUL.

…поверг Фейнмана в шок. SYJ, 49–50.

…Фейнмана отстранили. Wheeler 1989, 3.

…не будет вращаться вообще. Понятное объяснение, построенное на описании эксперимента более надежного, чем

проведенный Фейнманом, было дано в марте 1960, 388-90. Однако физики так и не прекратили споры по поводу возможных ответов, и в литературе можно встретить продолжение дискуссии.

…нет дорожных указательных знаков. Eddington 1940, 68.

…к тому времени он выяснил. F-W, 233; NL, 435.

…в радиотрансляционной антенне. Cf. Feynman's later discussion of radiation resistance, Lectures, I-32-1.

…спросил Уилера. F-W, 233–234; NL, 436.

…отставание во времени. Wheeler and Feynman 1949, 426.

…запаздывающие волны. Lectures, I-28-2.

…при ближайшем рассмотрении. Morris 1984, 137.

…«Ой, да ладно, как это может быть?». Feynman 1965b.

…для выполнения работы. Фейнман писал своим родителям в ноябре: «…последнюю неделю дела идут быстрее и намного лучше, но сейчас я столкнулся с некоторыми математическими трудностями, и мне остается либо преодолеть их, либо пойти другим путем. Это занимает все мое время, но и доставляет мне невероятное удовольствие. Никогда раньше я так глубоко и основательно не рассматривал никакую задачу… Я только начал понимать, как далеко нам еще до решения и каким путем к нему можно прийти. Это забавно». Feynman to Lucille Feynman, November 1940, PERS.

…с предубеждением. Feynman 1941a, fig. 3 caption.

…воздействие источника. Feynman 1948b, 941.

…описал теорию. F-W, 237–238.

…создать устройство. Wheeler and Feynman 1949, 426–427; Hesse 1961, 279.

…учитывались вероятности. Feynman 1941a, 20.

…хранил веру в теорию. Wheeler, oral-history interview, 17 November 1985, 12, AIP.

…в начале 1941 года он попросил. Cf. Recommendation of Richard Phillips Feynman for Appointment as Porter Ogden Jacobus Fellow for 1941–1942, PUL.

…Паули действительно возразил…» Wheeler 1989, 26. Много позже Фейнман сказал по поводу возражений Паули: «Жаль, что я не помню, в чем именно они заключались, потому что ведь он мог попасть в самую точку». F-W, 244. Паули также, возможно, предполагал, что теория не может быть квантовой.

…разве вы не согласны. F-W, 244.

…шаткий баланс. Feynman to Lucille Feynman, 3 March 1940, PERS.

…читать друзьям лекции. Simeon Hutner, telephone interview.

…часы, на которые не запланированы. Feynman to Lucille Feynman, November 1940, PERS.

…прежде чем поведать. Paul Olurn, telephone interview.

…коробку карандашей. WDY, 43–44.

…если не нравлюсь тебе. Arline Greenbaum to Feynman, n.d., PERS.

…способ лечения. Teller 1988, 97.

…старый приятель Фейнмана. Robbins, interview.

…«Он определенно верит в общность физиков». Там же.

…но все же он опасался. F-W, 252–253; Feynman 1941a is the manuscript on which he based the talk. Feynman and Wheeler 1941 is the published abstract.

…ускорение точечного заряда. Feynman 1941a.

…Уилер действовал решительно… Feynman (F-W, 243). Фейнман полагал, что визит к Эйнштейну состоялся до лекции, Уилер же утверждал, что после. Еще несколько источников подтверждают версию Уилера.

…Эйнштейн благожелательно встретил. Wheeler 1989, 27.

…Фейнман поразился. F-W, 254.

…упрямым еретиком. Quoted in Pais 1982, 462.

…необходимо различать два вида. Feynman 1941a, 13; Schweber 1986a, 459.

…«Профессор Уилер», — написал он. Feynman 1941a, 13.

…«Солнце не сияло бы». Zeitschrift für Physik 10(1922): 317, quoted in Wheeler and Feynman 1945, 159–160.

…Льюиса тоже беспокоило. Stuewer 1975, 485 and 499.

…«Рискну предположить…» Lewis, “The Nature of Light,” Proceedings of the National Academy of Sciences 12(1926): 22, quoted in Wheeler and Feynman 1945, 159 n.

…оказались тупиковыми. F-W, 260.

…можно вычислять взаимодействие между частицами. Первое применение принципа наименьшего действия в данном контексте появилось в работе, с которой Уилер и Фейнман тогда не были знакомы: статья Фоккера в Zeitschrift für Physik 58(1929): 386.

…в теории поглощения. NL, 438–439.

…Фейнман использовал. Там же, 440.

…«У нас есть нечто…» Там же.

…своеобразного изображения. Minkowski, “Space and Time,” in Weaver 1987, 2:156; Galison 1979.

…«Фейнман, я знаю, почему». NL, 441.

…это первая античастица… Дирак, однако, неохотно принимал идею новых античастиц. Он вначале предположил, что эти положительно заряженные частицы, должно быть, протоны, несмотря на огромное несоответствие в массе.

…Эйнштейна тоже волновал этот вопрос. Park 1988, 234.

…философ Адольф Грюнбаум. “The Anisotropy of Time,” in Gold 1967, 149; Adolph Grünbaum, telephone interview.

…Мистером Икс. Фейнман был в ярости от предложения напечатать этот диалог после конференции. Он удивил остальных участников своим заявлением о том, что понятия «природы времени» не существует. Грюнбаум позднее сказал: «Не понимаю, о ком он беспокоился? Если об осведомленных людях, то это был провал. Не представляю, как человек его уровня мог так заблуждаться». Grünbaum, interview.

…Грюнбаум: «Я хочу сказать». Gold 1967, 178–179.

…скрытая сторона мозга. Там же, 183.

…ощущение текущего момента. Morris 1984, 146.

…«Сказать… довольно просто». Park 1988, 234.

…«Неважная память». Gold 1967, 235.

…трех разных подходов. Там же, 13–14.

…процесс приводит. Там же, 4.

…«Довольно интересно…» Там же, 186.

…стали возникать мысли. F-W, 301.

…прочитал о брюшном тифе. Там же, 303; WDY, 34–35.

…Фейнман чувствовал. F-W, 246.

…время от времени Уилер говорил Фейнману. Там же, 268.

…«О», — протянул Паули. Там же, 245–246; cf. SYJ, 66.

…Уилер отменил выступление. F-W, 255 («Вопрос: И какова же кульминация этой великой работы? Ответ: Кульминацией было то, что его великая работа так и не увидела свет»).

…Дирак… опубликовал об этом статью. Dirac 1933.

…на следующий день Джел и Фейнман. NL, 443.

…«Вы, американцы…». F-W, 272; Schweber 1986a.

…что тот — великий человек. Robert R. Wilson, interview, Ithaca, N. Y.

…«Записи фактов». Feynman 1940; F-W, 287–288.

…спросили, какой цвет. F-W, 289–290.

…его озадачили. Там же, 220–221.

…«Когда я говорю…» WDY, 59.

…возникла последовательность. F-W, 273–274.

…Флеминг заметил. Macfarlane 1984; Root-Bernstein 1989, 166–168.

…«Патологически роскошная болезнь разрастается». Mann 1927, 286–287.

…Фейнман вернулся в библиотеку. История отношений Фейнмана с Арлин Гринбаум строится на двух версиях самого Фейнмана. Но даже более двадцати лет спустя они так тесно переплетаются и согласуются между собой, что Ричарду пришлось свериться со своей копией интервью, прежде чем наговорить

текст для аудиозаписи, а потом отредактировать то, что позднее было напечатано в 1988 году.

…«прощальное любовное письмо». WDY, 38.

…когда она напрямую спросила обо всем Ричарда. Cf. Arline Greenbaum to Feynman, 3 June 1941, PERS.

…Ричард учился на стипендию. Fellowship records, PUL.

…когда Ричард сообщил декану. F-W, 309.

…на область физики. Kevles 1987.

…прошел слух. Wilson, interview.

…«венгерского заговора». Rhodes 1987, 308.

…«Я сам бы никогда не подумал об этом!» Там же, 305.

…Уилсон и несколько его коллег. Wilson, interview.

…ученые изобрели. Rigden 1987, 130.

…«Это же просто». Edward U. Condon, quoted in Kevles 1987, 304.

…записаться на фронт связистом. Feynman 1981.

…из окна лаборатории. SYJ, 83–84.

…возможность послужить. F-W, 294.

…четвертая часть всех физиков страны. Kevles 1987, 320. По его оценкам, в это число входят три четверти выдающихся деятелей [в среде физиков]..

…«областью машин, приборов…». Compton, “Scientists Face the World of 1942,” quoted in Schweber, forthcoming.

…примитивным аналоговым компьютером. F-W, 294–295; SYJ, 85–87.

…Фейнман углубился. Mitchell Feigenbaum, interview, New York.

…случай взаимодействия двух частиц. Feynman 1941b.

…«Этот интерес к …» Там же.

…вероятность создания. Wilson, interview.

…физик-эмигрант. Peierls 1985, 169.

…войдя как-то утром на кухню. Rhodes 1987, 340.

…аспирантам предложили выбрать. Lavatelli, interview.

…сразу почует любой вздор. Wilson, interview.

…К величайшему разочарованию. Там же; F-W, 297.

…слегка развеяла его иллюзии. «Полагаю, мой патриотизм улетучился или что-то вроде того». F-W, 297.

…когда все участники проекта. Там же.

…электронное оборудование. Wilson, interview.

…теоретическое подразделение команды. Olum, interview.

…никак не мог понять, что происходит. Там же.

…напоминает мультипликационный фильм. F-W, 298.

…придуманным когда-то его учителем Эрнестом Лоуренсом. Heilbron and Seidel 1989, 515–516.

…экспериментаторы попробовали приложить. F-W, 320.

…физикам предстояло придумать. Ernest D. Klema, n.d., Response to Nuclear Physics Questionnaire. AIP.

…оказался основным конкурентом. R. Wilson 1972, 474–475.

…генерал Лесли Гровс. Groueff 1967, 36–38.

…образец вещества, полученный в изотроне. F-W, 325–326.

…первым, чьи научные лекции слушал Ричард. Там же, 325.

…стало потрясением. Почти год спустя он писал Смиту из Лос-Аламоса: «Я все еще не могу смириться с тем, что наш проект закрыли. Это определенно было сделано сгоряча, до подписания контракта». Wilson to Smyth, 27 November 1943, LANL.

…Смит и Винер в частном порядке. Davis 1968, 136.

…Калитрон Лоуренса просто использовал. Lavatelli, quoted in Davis 1968, 135.

…детальный расчет. Feynman 1942f; Feynman 1943a; Smyth and Wilson 1942, 5.

…«Моя жена умерла три года назад». Olum, interview.

…заканчивать работу над диссертацией. Wheeler to Feynman, 26 March 1942, AIP.

…будет вспоминать. F-W, 281.

…«возникали серьезные трудности». Feynman 1942a.

…«Теория мезонного поля». Feynman 1942b, 1 n.

…производное понятие. Feynman 1942a.

…«Мы можем предположить в таком случае». Там же.

…«существует независимо от их общей теории». Feynman 1942b, 5.

…приложил все усилия. Wheeler and Wigner 1942.

…говорил о недоработках. Feynman 1942b, 73–74.

…«В математике мы должны дать описание». Там же.

…показалось похожим на вручение «почетной лицензии на работу электриком». Feynman to George W. Beadle, 4 January 1967, CIT. Отказавшись принять свою первую почетную награду, Фейнман сказал президенту Университета Чикаго, что помнит тех «парней, которые стояли с ним на одной сцене и получали эти награды, не проделав никакой работы, что снижало ценность самой идеи вручения за реальные заслуги». «Я поклялся тогда, что, если когда-либо мне будут вручать нечто подобное, я не приму. И вот теперь, двадцать пять лет спустя, вы даете мне возможность выполнить свою клятву».

…«Отношения между мужем и женой». Flick 1903, 289.

…«Для многих матерей, страдающих туберкулезом». Там же, 288.

…«Брак — слишком дорогая…» Underwood 1937, 342.

…они были так молоды. Solomon 1952, 122.

…«Ты подвергаешь опасности свое здоровье». Lucille Feynman to Feynman, «Why I object to your marriage to Arline at this time», n.d, PERS.

…сообщил отцу. Feynman to Melville Feynman, 15 June 1942, PERS.

…через несколько дней. Feynman to Lucille Feynman, «Why I want to get married», June 1942, PERS.

…она шла к нему. Jules Greenbaum, telephone interview.

…они расписались в мэрии. WDY, 42–43.

…опасаясь заразиться. «Я знал, что мне нельзя ее целовать… Из-за болезни я боялся заразиться» (F-L); в отредактированной версии, наоборот, говорится, что Фейнман «робко» поцеловал Арлин в щеку SYJ, 43.

ЛОС-АЛАМОС

Я не искал способов получить доступ к секретным документам национальной лаборатории Лос-Аламоса. Однако в архивах оказалось много рассекреченных материалов, включая записи Фейнмана, которые он начал вести с первого дня на плато, его личные дневники, техническую документацию по расчетам критической массы, анализ вычислений и диаграммы фейнмановской проверки завода в Ок-Ридже. Лиллиан Ходдесон и Гордон Бейм любезно предоставили их интервью с Фейнманом, в которых он рассказывал о многих засекреченных записях. Также доступны инструкции Фейнмана для вычислительной команды, ставшие основой доклада Смита «Атомная энергия в военных процессах», и связанная с этим переписка Смита, Оппенгеймера и Гровса. У Мэри Ли сохранилась копия письма Фейнмана матери от 9 августа 1945 года, в котором он описывал испытания «Тринити». В архивах самого Ричарда есть личные записи Арлин, включая их переписку и ее письма семье и друзьям. Множество книг написано о Манхэттенском проекте и его участниках, однако кое-что все же остается нераскрыто. Есть множество личных воспоминаний. Самая полная история изложена в книге Ричарда Родса «Создание атомной бомбы». Работы Хокинса и других очень полезны с технической точки зрения. Время, когда можно было получить незамутненные свидетельства очевидцев, давно миновало. Тем не менее я побеседовал с участниками тех событий и друзьями Фейнмана (Бете, Вайскопфом, Уилсоном, Олумом, Велтоном, Роуз Бете, Филипом Моррисоном, Робертом Бэчером, Робертом Кристи, Робертом Уолкером, Дороти Уолкер). Николас Метрополис рассказал даже больше, чем было

опубликовано в его воспоминаниях о зарождавшейся тогда вычислительной науке. Я также использовал работы таких авторов как Альт (1972), Эспрей (1990), Баше и другие (1986), Голдстейн (1972), Нэш (1990) и Уильямс (1985). Ричард Фейнман пересказал лучшие моменты в разговоре в Университете Калифорнии в Санта-Барбаре (1975). Впрочем, в его письмах 1945 года прослеживается совершенно иной тон, и именно на него я в большей степени опирался.

…его бросило в жар. Feynman to Lucille Feynman, 9 August 1945, PERS.

…и вдруг — музыка. Там же; Weisskopf, interview. Странно в этих воспоминаниях то, как много ученых слышали совершенно разную музыку James W. Kunetka, for example, (1979) heard “The Star-Spangled Banner.”

…тридцать минут до начала. Feynman to Lucille Feynman, 9 August 1945.

…и потом — ни звука. Frisch 1979, 164.

…взрыв, обрушение. Talk at Boston Institute for Religious and Social Studies, 3 January 1946. In Rabi 1970, 138–139.

…«Что это?» Peierls 1985, 202; Feynman 1975, 131. Корреспондентом был Уильям Лоуренс. В конечном итоге вот как он описал звук, который услышал тогда: «Из глубокой тишины вырвался величайший гром… словно одновременно взорвались тысячи бомб… большой взрыв… землетрясение… первый крик новорожденного мира». Laurence 1959, 117.

…ближе всех к взрыву. E.g., Kunetka 1979, 169.

…один из физиков подумал. Jette 1977, 105.

…теперь он опустился настолько. Frisch 1979, 155.

…«холодок, но не тот, который чувствуешь по утрам». Quoted in Rhodes 1987, 675.

…сотворили нечто ужасное. SYJ, 118.

…прыгали от радости. Feynman to Lucille Feynman, 9 August 1945.

…все было прекрасно. Там же.

…мы тогда оказались. R. Wilson 1972, 475.

…«детально опишут тебе проблему». F-W, 328; Wilson, interview.

…собрать нужные сведения. F-W, 329.

…дерзкого чемпиона. Morrison 1988, 42; also Morrison, oral-history interview, 7 February 1967, AIP, 34: «Его уже уведомили об этом умнике из Принстона, который все на свете знал. И он, в самом деле, был таким».

…Фейнман предложил разбить задачу. F-W, 330.

…одинаково хорошо владевший и правой, и левой руками.

Bernard Feld, quoted in Schweber, forthcoming.

…снимут фильм. F-W, 332; Olum, interview.

…формула Оппенгеймера. Peierls, quoted in Heilbron and Seidel 1989, 256.

…«броски мяча с отскоками». Rhodes 1987, 149.

…«Почему бы вам не взять рыбу?» Peierls 1985, 190.

…позвонил из Чикаго. F-W, 337.

…невозможно сосредоточиться. Davis 1968, 163.

…обеспечить секретность. F-W, 332.

…после непродолжительных колебаний. Feynman 1975, 108.

…слезно упрашивала. Arline Feynman to Feynman, 26 March 1943, PERS.

…Арлин плакала ночами. Там же; Arline Feynman to Feynman, 19 March 1943, PERS.

…одно из возможных решений. F-H, 5.

…единственным средством связи. John H. Manley, "A New Laboratory Is Born," in Badash et al. 1980, 31.

…водяным бойлером. Hawkins et al. 1983, 104–105; F-H, 4–6.

…тяжелой бетонной стеной. Groueff 1967, 210.

…удостоверение некоего инженера. State of New Mexico Operator's License no. 185, 1944, PERS.

…«Добро пожаловать в Лос-Аламос». Frisch 1979, 150.

…«Не обязательно говорить…» Notebook, "A-83-002 7–7," LANL.

…отражает нейтроны <…> поддерживает бомбу на уровне. Там же.

…«Многое из того, что необходимо было сделать». Feynman 1944.

…этим летописцем был Фейнман. Smyth to Oppenheimer, 1 February 1945, and Oppenheimer to Smyth, 14 April 1945, LANL.

…проводя экскурсию для Смита. SYJ, 118; Groueff 1967, 326.

…на запрос о поставке осмия. Groueff 1967, 326.

…первая песчинка плутония. Hawkins et al. 1983, 72.

…обозначил основные вопросы. Feynman 1944. Рекомендации Фейнмана по материалам для отражателя атомного реактора, а также еще некоторая важная информация относительно материалов, были удалены из отчета перед его публикацией.

…рокочущий смех. E.g., Joseph O. Hirschfelder, "Scientific-Technological Miracle at Los Alamos," in Badash et al. 1980, 81.

…считали эту парочку. Frisch 1979, 154.

…«Ты с ума сошел!». F-W, 339; Bethe, interview; Groueff 1967, 205.

…сказал что-то три раза. Schweber, forthcoming.

…детском бланке «Вестерн Юнион». Rhodes 1987, 416.

…изучить физику. Bernstein 1980, 29.

…в Риме. L. Fermi 1954, 217.

…легкостью подхода. Bernstein 1980, 31.

…ознакомительные беседы. F-H, 40; Bethe, interview.

…рискованные практические аспекты. Hawkins et al. 1983, 13.

…долгое время размышлял. F-H, 12–13.

…теорией ветвящихся процессов. Ulam 1976, 153; Harris 1963; David Hawkins, “The Spirit of Play,” in Cooper 1989.

…нашел практичный способ. Bethe, interview.

…стал проникаться симпатией. F-W, 409–410.

…одного из своих товарищей. Feynman to Daniel Robbins, 24 June 1942, PERS.

…более оседлую жизнь. Feynman to Lucille Feynman, 24 June 1943, PERS.

…когда ему назначили встречу. Welton 1983, 7.

…«Ты знаешь, чем мы тут занимаемся?» Там же.

…«Это плохо пахнет». Davis 1968, 215.

…слушая Фейнмана. Welton, interview.

…не переставало удивлять и восхищать. Welton 1983, 8–9; Welton, interview.

…Велтон стал четвертым физиком. Вместе с Фредериком Райнесом, Джулиусом Эшкином и Ричардом Эрличем.

…не чуждую остроумию. Welton 1983, 9.

…«Карандаши, вычислять!» F-H, 42–43.

…критическая масса вещества. Hawkins et al. 1983, 77.

…сферическую поверхность. Welton 1983, 11; Welton, interview.

…попросил оценить. Bethe, interview; F-H, 23.

…когда металлурги Лос-Аламоса. Hawkins et al. 1983, 139.

…ограничения в их методах. Welton 1983, 13.

…Фейнман решил проблему. Отчет, толщиной в целую книгу, написанный Фейнманом и Велтоном в 1947, объединил основные открытия Фейнмана и его группы по вычислению критической массы и рассеиванию нейтронов. Личный вклад Фейнмана в версию задачи, где нейтроны обладают единственной скоростью — практическое упрощение методов, разработанных другими учеными. Оно отражено в работе 1946 года. Feynman 1946b.

…опыт вычислений. F-H, 23–24.

…пытаясь объяснить. Welton 1983, 14.

…казалось, что это невозможно. Ashkin, Ehrlich, and Feynman 1944. Велтон вспоминал с иронией (1983, 14): «Лишь миг раздумий потребовался Фейнману… перед тем как он объявил, что мы собирались взять все результаты вычислений команды T-2, пропустить их через мясорубку, приправить своими

размышлениями (которые еще предстояло откуда-то взять) и представить эту смесь как готовую к применению интерполяционно-экстраполяционную формулу».

…нельзя ожидать большой точности. Feynman 19466, 3.

…к сожалению, цифры. Ashkin, Ehrlich, and Feynman 1944, 4.

…методы неточны. Feynman and Welton 1947, 6.

…интересная теорема. Feynman 1946b, 3.

…«представляющих для нас интерес». Feynman and Welton 1947, 6.

…заместитель Бете, Виктор Вайскопф. Weisskopf, oral-history interview, 31, AIP.

…объяснял им. F-H, 18.

…«Четыре часа двадцать минут назад». Nicholas Metropolis, interview, Los Alamos, N. M.

…при переходе на летнее время. Morrison 1988, 42.

…«Хочешь более точно?» Feynman 1975, 109.

…«Это 1,35». F-H, 41.

…«это π до четвертой цифры». Там же, 39.

…тогда заговорил Пол Олум. Olum, interview; F-L for SYJ, 176.

…работая с Бете. Bethe, interview.

…их редко использовали. Metropolis and Nelson 1982, 348–349.

…«разберемся в этих проклятых штуковинах». Metropolis, interview.

…они потратили не один час. Bethe, interview; Metropolis 1990, 237; Metropolis and Nelson 1982, 349.

…пик вычислительных процессов. Metropolis and Nelson 1982, 350.

…были настолько мощными. Weisskopf 1991, 134.

…еще до получения вычислительной техники. F-W, 362–363; Brode 1960; Feynman 1975, 125.

…любил поговорить. Feynman 1975, 129.

…Фейнман полагал. F-H, 55–56: «Мы открыли нечто, чего не понимали, но что очень беспокоило всех… Когда применили дифференциальное уравнение, мы решили задачу математически и получили случайные числа. Затем мы проверили и получили тот же результат… Запятые, казалось, скакали, как хотели, но фон Нейман объяснил, что все было верно, все было как надо, все было очень любопытно… И мы ничего не могли с этим поделать… Мы были невероятно удивлены тем, что после повторно проведенных вычислений у нас получились те же случайные числа».

…при каждом включении. T. Reid 1984, 14; Alt 1972, 693; Metropolis and Nelson 1982, 352.

…интересные свойства чисел. Лекция в последствие стала частью его курса по математическим методам в Корнеллском университете, а потом, переработанная, вошла в сборник «Лекции Фейнмана по физике». Feynman Lectures on Physics. Feynman to Lucille Feynman, 29 February 1944; Lectures, I-22.

…«Величайшие умы». Feynman to Lucille Feynman, 29 February 1944.

…«он здесь самый талантливый». Oppenheimer to Birge, 4 November 1943, in Smith and Weiner 1980, 269.

…«Это второй Дирак». Oppenheimer to Birge, 4 November 1943, in Smith and Weiner 1980, 269.

…Арлин же смеялась. Arline Feynman to Lucille and Melville Feynman, 28 June 1943; F-L for SYJ, 46.

…странного разговора. Moss 1987, 68.

…«первопроходцами, основавшими…» Brode 1960, 7.

…самый закрытый клуб в мире. James Tuck, quoted in Davis 1968, 184.

…что значила эта «кадриль». Tuck, quoted in Brode 1960, 7.

…поставили балет. Brode 1960, 6.

…любые формы тайного письма. Reprinted in Jette 1977, 130.

…зашифрованные письма. Feynman 1975, 112.

…Ричард и Арлин задумали. Там же.

…«Не все капитаны…» Feynman to Lucille Feynman, 10 December 1943.

…рассказал ему. Feynman to Arline Feynman, 8 March 1945.

…охранники мирились с ними. Hirschfelder, in Badash et al. 1980, 79.

…новая модель. Olum, interview.

…он напился. Feynman to Arline Feynman, 9 May 1945, PERS.

…более «нравственным». Там же.

…двое прибежали сверху. Feynman to Arline Feynman, 4 April 1945, PERS.

…«слишком люблю загадки». Там же.

…развивались и легенды. SYJ, 124.

…физики Лос-Аламоса. E.g., Frisch 1979, 154.

…«Я вскрыл сейфы». F-L for SYJ, 121–122.

…Ричард также выяснил. SYJ, 133.

…с собственным сейфом. Там же, 124–125.

…наслаждался видом облаков. Feynman to Lucille Feynman, 10 December 1943, PERS.

…«во мне просыпается эстет». Там же.

…сможет ли он и на этот раз. Ian McEwan, The Innocent (New York: Doubleday, 1990), 85.

…сидел вместе со всеми. F-W, 317.

…напряжение ослабло. Feynman to Arline Feynman, 3 April 1945, PERS.

…«Ты сильная и красивая женщина». Там же.

…«Но не пугайся». Feynman to Arline Feynman, 24 April 1945.

…отношения между офицерами. R. Wilson 1974, 160.

…«Ты не такой». Arline Feynman to Feynman, February 1945.

…«Я не знаю». Cohn 1943, 56–57; Arline Feynman, handwritten notes, PERS.

…«Милый, я начинаю думать…» Arline Feynman to Feynman, 16 January 1945.

…упомянула о будущем. Arline Feynman to Feynman, 17 January 1945.

…«Мы должны бороться». Там же.

…«пей больше молока». Feynman to Arline Feynman, 2 May 1945, PERS.

…она похудела. Arline Feynman, notebook of medical records and expenses, PERS.

…«Ты замечательная». Feynman to Arline Feynman, 2 May 1945.

…время летело. Feynman to Arline Feynman, 19 April 1945, PERS.

…услышал о новом лекарстве. Feynman to Richard Gubner, draft, n.d., and Gubner to Feynman, 29 August 1944 and 14 November 1944, PERS.

…Джоан была в восторге. Joan Feynman to Arline Feynman, 29 April 1945, PERS.

…признаки истощения. Feynman to Arline Feynman, 18 May 1945.

…обратитесь с этим к специалисту. Henry Barenblatt to Arline Feynman, 19 April 1945 and 23 April 1945, PERS.

…врач в Лос-Аламосе. Feynman to Arline Feynman, 3 May 1945.

…тот же доктор. Там же.

…«P. S. будет 59». Feynman to Arline Feynman, 15 May 1945.

…перелистывал страницы. Feynman to Arline Feynman, 17 May 1945.

…держись. Feynman to Arline Feynman, 9 May 1945.

…вся страна отмечает. Feynman to Arline Feynman, 10 May 1945.

…в клинике Мэйо. Waksman 1964, 127–128.

…врач, первым выделивший культуру. Там же, 115–118.

…занимавшиеся плутонием. Hawkins et al. 1983, 163–164.

…Гарри Даглян. L. Fermi 1980, 99; de Hoffman 1974, 166–167; Frisch 1979, 159–160.

…более безопасный вариант. Hawkins et al. 1983, 89.

…по просьбе Теллера. E. Teller to R. F. Bacher, 27 March 1944, LANL.

…отвечал за расчет. E.g., K. T. Bainbridge to Members of Committee on Fabrication and Assembly of Active Materials, 20 July 1944 and 5 September 1944, LANL.

…разрабатывать метод имплозии. Bethe to Oppenheimer, 8 November 1944, and Bethe to Bacher, 3 January 1945, LANL; Robert F. Bacher, interview, Santa Barbara, Calif.

…полную власть. Bethe to Oppenheimer, 26 January 1945, LANL.

…«Уважаемые господа». J. L. Patterson to Major W. E. Kelley, 19 September 1944, and W. E. Kelley to Feynman, 21 September 1944, LANL.

…как выяснил Сегре. Feynman 1975, 119–121.

…Фейнман начал с того. F-H, 33.

…проблема была даже более серьезной. F-W, 353–354.

…отвечая на вопрос. Feynman to Major W. E. Kelley, 27 September 1944, LANL.

…во время вращения центрифуги. Feynman to Colonel Arthur E. Peterson, 18 September 1945.

…«Пуста ли СТ-1». Notes, LANL.

…разработал способ. Feynman 1945.

…некоторые потом утверждали. К примеру: «Сам того не осознавая, он спас мою жизнь и жизни всех, кто работал на заводе в Ок-Ридже в те непростые годы…». Irwin H. Goodwin to Ralph Leighton, 8 December 1988.

…визит Фейнмана в Ок-Ридж. F-L for SYJ, 104.

…«Говори, что Лос-Аламос…» Feynman 1975, 122.

…пришлось быстро повзрослеть. Там же.

…иногда той весной. F-H, 14.

…один из воскресных дней. Feynman to Arline Feynman, 24 May 1945, PERS.

…были страшненькие. Там же.

…«Моей жене». Feynman to Arline Feynman, 6 June 1945, PERS.

…однажды ночью. Feynman to Arline Feynman, 14 June 1945, PERS.

…производительность выросла. Bethe, interview.

…придумал эффективный способ. F-W, 371–374.

…вошел в палату. Там же, 343–346; F-L for WDY, 50–53.

…медсестра зафиксировала. Certificate of Death, PERS.

…Ричард вошел и присел. Robert and Dorothy Walker, interview, Tesuque, N. M.

…когда он вошел. Joan Feynman, interview.

…на армейской машине. Feynman to Lucille Feynman, 9 August 1945, PERS.

…хотя бы приблизительно рассчитать. De Hoffman 1974, 171–172.

…не по дьявольскому вдохновению. Smyth 1945, 223.

…«Никакой монополии…» Notes, n.d., PERS.

…«Большинство из того…» Там же.

…«при сложившихся обстоятельствах». Oppenheimer to Birge, 26 May 1944, in Smith and Weiner 1980, 276.

…Бирдж наконец созрел. Оппенгеймер уведомил Бирджа о решении Фейнмана невероятно формально: «Я рад, что вы намереваетесь предпринять шаги по усилению преподавательского состава кафедры… Несколько месяцев назад доктор Фейнман принял предложение постоянного места на кафедре физики Корнеллского университета. Мне неизвестны подробности о заработной плате или должности, но, по-видимому, его все устраивает. Я, со своей стороны, непременно доведу до вашего сведения, если появятся еще кандидаты…» (5 October 1944, in Smith and Weiner 1980, 284). Предложение Калифорнийского университета, в самом деле, подтолкнуло Корнелл (по настоянию Бете) поднять зарплату Фейнману еще до его прибытия. Изначально ему предлагалось три тысячи долларов. В Беркли предложили три девятьсот, и Корнелл назначил жалованье четыре тысячи. Бете написал: «Я понимаю, что весьма нетипично поднимать зарплату человеку до того, как он прибыл в университет, где собирается работать. Оправданием этому служит особое время и глубокие знания, которые мы приобретем с появлением Фейнмана». Bethe to R. C. Gibbs, 24 July 1945, and Gibbs to Feynman, 3 August 1945, CIT.

…первым из руководителей. Hawkins et al. 1983, 304.

…в свою последнюю поездку. WYD, 53.

КОРНЕЛЛ

Бете предоставил доступ к своим бумагам. Дайсон поделился копиями своей замечательной переписки с семьей в эти годы (его изображение в этой книге основано на этих письмах, различных его мемуарах, биографиях Брауэра (1978) и Швебера (еще не издана)). Швингер собирал ключевые научные публикации того периода (1958) и поделился собственным, весьма информативным мнением в 1983 году. Они и другие центральные для развития послевоенной квантовой электродинамики фигуры — Теодор Шульц, Мишель Баранже, Ивлин Франк, Артур

Уайтман, Абрахам Пайс — поделились устными воспоминаниями. Пол Хартман (1984) рассказал увлекательную историю о работе Корнеллского департамента физики и переписке с Фейнманом о космических путешествиях. Обсуждение научной визуализации я почерпнул из работ Артура Миллера (1984 и 1985), Брюса Грегори (1988), Швебера (1986a), Парка (1988), эссе и разговора с Джеральдом Холтоном и собственных размышлений Фейнмана. Рассказ о личных отношениях Фейнмана с женщинами в этой и следующей главе основан на переписке из его личного архива и моих интервью с каждой из женщин, чьи отношения с Фейнманом затронуты в книге подробно. Однако в примечаниях я, как правило, не привожу цитаты из отдельных писем и интервью из соображений приватности.

…древнегреческих богов. Charles Clayton Morrison, “The Atomic Bomb and the Christian Faith,” The Christian Century, 13 March 1946, 330.

…Оппенгеймер предвидел. Oppenheimer 1945, 316.

…«создали нечто ужасное». SYJ, 118.

…«И это правильно». Oppenheimer 1945, 317.

…стремление выяснить. Там же.

…события последних лет. Truman, “Problems of Post-War America,” 6 September 1945, in Vital Speeches 11(1945): 23.

…правительство оплачивало. Kevles 1987, 341.

…спокойные времена. R. Wilson 1958, 145.

…исследователь основывает. Oppenheimer 1945, 315–316.

…через два месяца после Хиросимы. Bishop 1962, 560; Hartman 1984, 238.

…с одним чемоданом. F-W, 415.

…за неделю до приезда. Bishop 1962, 556.

…кучи опавших листьев. F-W, 417.

…«Знаете что, друг мой». Там же, 419; cf. SYJ, 149–151.

…местная речь. «Всюду царила напряженная военного времени. В этом же университете, скрытом в лесах … шла обычная студенческая жизнь … Он говорит не спешно и болтает о погоде». F-W, 418.

…трех теннисных кортов. Hartman 1984, 204–205.

…полностью доверял. Philip Morrison, interview, Cambridge, Mass.

…выглядит чуть веселее. Quoted in Schweber 1986a, 468; Фейнман сказал: «Я все глубже погружался в нечто… не назвал бы это депрессий, нет. Я не был в депрессии, ведь я же жизнерадостный и счастливый парень». F-W, 425.

…коротал время в библиотеке. SYJ, 155.

…партнерши по танцам. F-W, 423; SYJ, 154.

…перед отъездом из Лос-Аламоса. E.g. Olum, interview; Walker, interview. Жена одного из физиков сказала: «Он взрывался, словно сексуальная петарда»..

…«Хочу, чтобы ты знал». Lucille Feynman to Feynman, 17 June 1945, PERS.

…умоляя его вернуться домой. Lucille Feynman to Feynman, 21 June 1945, PERS.

…принстонский. Lucille Feynman to Feynman, 8 August 1945, PERS.

…«я ощутила восторг и страх». Там же.

…«Кстати,» — добавила она. Там же.

…«что между нами произошло?» Lucille Feynman to Feynman, n.d., PERS.

…виртуозным оратором. Schwinger, interview.

…им, казалось, овладел. Polkinghome 1989, 14.

…покончив с холостяцкой жизнью. Schwinger 1983, 332.

…их первую встречу. E.g., Crease and Mann 1986, 129.

…«Ты мужик или мышь?» Norman Ramsey and Rabi, quoted in Schweber, forthcoming; Bernard T Feld, talk at Julian Schwinger's 60th birthday celebration, February 1978, AIP.

…еще не успел получить диплом. Schweber, forthcoming.

…побывал в Лос-Аламосе лишь однажды. Schwinger, interview.

…Фейнман хорошо запомнил. Feynman 1978.

…Гарвардский комитет. Schweber, forthcoming.

…сложные явления — простые правила. "Methods of Math Phys 405," Notebook, PERS.

…можно двигаться вперед. Robert Walker, interview.

…атомная бомба. "Methods of Math Phys 405."

…ведущий: на прошлой неделе. "The Scientist Speaks," transcript, radio broadcast, WHCU, 26 April 1946, OPP.

…«Радиоактивные лучи…» Там же.

…в Лос-Аламосе он изобрел. Hawkins et al. 1983, 308.

…межпланетные путешествия. Feynman to Paul Hartman, 5 December 1945, PERS.

…лететь вверх ногами. Там же.

…вернулся домой. Joan Feynman, interview.

…во время обеда. F-L.

…нелегко писать сыну. Melville Feynman to Feynman, 10 September 1944, PERS.

…воплощаешь мечты. Там же.

…окаменевшее лицо. Joan Feynman, interview.

…поступило больше студентов. Bishop 1962, 555.

…«обожаю тебя». Feynman to Arline Feynman, 17 October 1947,

PERS.

…рассказывал эту историю. F-W, 620; SYJ, 137. Письмо было надиктованно более двадцати лет спустя, но повторяет первую версию со стенографической точностью. Документы срочной военной службы были уничтожены, когда ФБР обнаружило их во время составления досье на Фейнмана. FOI.

…представить его. Princeton University 1946; F-W, 433–434; Wigner 1947; Feynman to Dirac, 23 July 1947, PERS.

…работа Дирака. Dirac 1946.

…не хватает интуитивных открытий. Princeton University 1946, 15.

…выглянул в окно. F-W, 437.

…хотел задать ему один вопрос. Там же, 272–273 and 437; Feynman 1948a, 378. Для Фейнмана вопрос исторического первенства был важен. Позже он говорил об этом в своей Нобелевской лекции: «Я решил, что выяснил, что имел в виду Дирак, но на самом деле я обнаружил, что то, что Дирак считал аналогией, на самом деле было равенством» (NL, 10). Однако Швингер в своей речи на мемориальной службе по Фейнману намекнул, что Дирак, вероятно, не понял смысла его работы: «Теперь мы знаем, и Дирак, безусловно, знал, что для постоянного коэффициента „аналогия“ и значит равенство… Но почему Дирак не дал более точную и менее общую формулировку? Потому что его интересовал только общий вопрос». Schwinger 1989, 45.

…Оппенгеймер пригласил его. Feynman to Oppenheimer, 5 November 1946, CIT.

…главе физического факультета Университета Пенсильвании. G. P. Harnwell to Bethe, 25 February 1947, and Bethe to Harnwell, 4 March 1947, BET.

…директором института. SYJ, 155; Smyth to Feynman, 23 October 1946 and 22 April 1947, CIT.

…экспериментировал с различными практиками. F-W, 426.

…ему стало легче. Там же, 427–428.

…«Не волнуйся так». SYJ, 156; F-W, 428.

…обеденную тарелку. F-W, 430; SYJ, 157. Also, Benjamin Fong Chao, “Feynman’s Dining Hall Dynamics,” letter, Physics Today, February 1989, 15.

…Велтон тогда работал. Welton, interview.

…«я занимаюсь исследованиями». Feynman to Welton, 10 February 1947, CIT.

…«Я Фейнман». Pais 1986, 23.

…спин был проблемным местом. Schweber 1986a, 469.

…повсюду замечал. «Буквально за неделю вопрос вращения

[пластины] пробудил во мне мысли о вращениях в принципе, а также о вращающимся электроне, и о том, как представить это в континуальных интегралах и квантовой механике. И вот, я уже снова работал. И передо мной снова открывались двери». F-W, 430.

…попыток опубликовать. F-W, 444.

…стояла задача. Там же, 443; Schweber 1986a, 472.

…«знаю геометрию». Feynman to Barbara Kyle, 20 October 1965, CIT.

…«Последние восемнадцать лет…» K. K. Darrow diary, 14 April 1947, AIP.

…физики-теоретики опозорились. Gell-Mann 1983a, 3.

…теория элементарных частиц. Weisskopf 1947.

…двадцать физиков, облаченных в костюмы. Schweber 1983, 313.

…собравшись за завтраком. Robert Marshak, telephone interview.

…никогда не присутствовало. Stephen White, “Top Physicists Map Course at Shelter Island,” New York Herald Tribune, 3 June 1947, 23.

…продемонстрировал свой метод. Pais 1986, 452.

…чистый голос. K. K. Darrow diary, 14 April 1947, AIP.

…Лэмб лег спать. Lamb 1980, 323.

…Швингер, тоже слушавший. Schwinger 1983, 337.

…Факты доказывали невероятное. Quoted in Schweber, forthcoming.

…После конференции. Schwinger 1983, 332. Вскоре после этого он женился или, как он сам говорил, «оставил свои холостяцкие владения и пустился вместе со своей половинкой в ностальгическое путешествие по стране, которое должно было продлиться все лето».

…потерпела фиаско. Polkinghome 1989, 12.

…едва ли могло считаться известным. Morrison, interview.

…что они там делали. Michel Baranger, interview. New York.

…«она где-то там». Alice Dyson, quoted in Schweber, forthcoming.

…«Я, сэр Филип Робертс». Sir Philip Roberts’s Erolunar Collision, in Dyson 1992, 3–4.

…прочитал популярные книги. Dyson 1979, 12.

…к своему разочарованию. Schweber, forthcoming.

…осторожно начала разговор. Dyson 1979, 15.

…поступил в Тринити-колледж. Brower 1978, 16.

…Судьбы Дайсона. Dyson 1979, 19–21.

…среди книг. Там же, 4.

…«Мое желание». D. H. Lawrence, Study of Thomas Hardy, quoted in Dyson 1988, 125.

…новость о Хиросиме. Brower 1978, 20.

…спустя много лет. Там же, 24.

…на втором курсе. Dyson 1987.

…профессор Литтлвуд. Dyson 1944; Dyson, interview.

…«ухожу из физики в математику2. Kac 1985, XXIII; Dyson, interview.

…впервые сыграл в покер. «…и обнаружил, что был достаточно хорош в этом», — писал он своим родителям, 11 June 1948.

…пикник по-американски. Dyson to parents, 11 June 1948.

…«Мы были в диких местах». Dyson to parents, 19 November 1947.

…разработал свою версию. Там же.

…он позвонил Фейнману. NL, 449.

…весьма приблизительные вычисления. Они разнились, но только логарифмически, и были амбициозны, но продвигались очень медленно, как цепочки типа $1 + {}^1/_2 + {}^1/_3 + {}^1/_4 + \ldots$ И после миллиона действий не достигали даже 15, но и не прекращали увеличиваться. Когда новости долетели до России, великий Лев Ландау произнес с мрачной славянской мудростью: «Курица не птица, а логарифм не бесконечность». Weinberg 1977a, 30; Sakharov 1990, 84.

…эти величины не совпали. Bethe, interview.

…Хендриком Крамерсом. Бете также говорил со Швингером и Вайскопфом, и оба они предложили пути перенормировки.

…Дайсон видел. Dyson, interview.

…как человек-оркестр. Dyson to parents, 19 November 1947.

…на каждое число. Henry Bethe to Gweneth, 17 February 1988, in WDY, 101.

…некоторое время. Dyson, interview.

…не то гением, не то шутом. Dyson to parents, 8 March 1948.

…«человек, чьи идеи…» Dyson to parents, 15 March 1948.

…законы микрокосма. Quoted in Miller 1984, 129.

…умерить наши требования. Bohr 1922, 338.

…попробуйте представить. Quoted in Miller 1984, 143.

…«Когда атом переходит…» WDY, 18–19.

…нельзя говорить с полной определенностью. Quoted in Gregory 1988, 185.

…Фейнман сказал Дайсону. Dyson 1979, 62.

…сосед Фейнмана по Корнеллскому общежитию. Theodore Schultz, interview, Yorktown Heights, NY.

…«Пространство — мельтешение в глазах». Pencil note, CIT.

Vladimir Nabokov, Pale Fire (New York. Vintage, 1990), 40.

…«Я пытаюсь привнести ясность». F-Sch.

…описывая магнитное поле. Lectures, II-20-3.

…диаграммы использовали редко. See Miller 1984.

…диаграмм в ней не было. Feynman 1948a.

…центральный принцип: Там же., 367.

…редакция отказалась печатать. Фейнман и еще несколько человек вспоминали это, хотя в журнале не было записей… E.g., F-W, 485; Baranger, interview.

…«ни с чем не сравнимое удовольствие». Feynman 1948a, 367.

…его знают прежде всего. Kac 1985, 115–116.

…Электрон делает все, что ему вздумается. Цит. по Дайсону: Комментарии по теме «За пределами черной дыры», в Woolf 1980, 376.

…казалось, что он открыл. Feynman 1948a, 377–378.

…обманчиво невинных задачек. See QED.

…к утру дать ответ. NL, 449; F-W, 459.

…когда в конце осени. F-W, 462 f.

…Господь велик. Rabi to Bethe, 2 December 1947, and Bethe to Rabi, 4 December 1947, BET. Цитируется по готовящейся рукописи Швебера.

…которых он считал командой. Feynman to Corbens, 20 March 1948, CIT.

…собрала толпу народа. “The Prodigy Who Grew,” Newsweek, 23 February 1948, 45–46; William L. Laurence, “New Guide Offered on Atom Research,” New York Times, 1 February 1948; Stephen White, “Physics Society Hears Theory of Electron Action,” New York Herald Tribune, 1 February 1948, 51.

…«Папа, я тоже так умею». F-W, 463–464.

…«Мне жаль…» Rose McSherry to Feynman, 21 January, 1948, PERS.

…Прошли месяцы. Фейнман официально признал ошибку в примечании к работе, опубликованной в следующем году; он специально подстроил последовательность сносок таким образом, чтобы извинение шло под номером 13. «Автору неоднократно указывали на ошибочность результата… в личной переписке с В. Ф. Вайскопфом и Д. Б. Френчем… Автор сожалеет и чувствует свою ответственность за существенную отсрочку публикации результатов Френча, произошедшую из-за этой ошибки». Feynman 1949b, 777; Weisskopf, interview; Weisskopf 1991, 168.

…пустое пространство. Dirac in Proceedings of the Royal Society of London A 133(1931):60.

…черную нить. Feynman 1948f, 2–3.

…студент Корнелла. Schweber 1986a, 488.

…пилот следит за дорогой. Feynman 1948f, 4; cf. Feynman 1949a, 749.

…еще по своей работе. Feynman 1947, 1.

…обычная теория скажет. Там же, 4.

…но мы заявляем. Там же.

…подчеркивать необходимость. Marshak, interview. Вместо этого мезоны назвали мюон и пион, в честь греческих букв.

…Конференция началась с доклада. Wheeler 1948.

…малейшая единица пространства. Там же.

…Швингеру это не понравилось. Schwinger, interview.

…математический подход. F-W, 469; Bethe, interview.

…сидели перед ним. Segrè 1970, 174.

…математические вычисления. F-W, 470.

…интеллектуально отталкивающей. Schwinger, interview.

…Бор хотел знать. Wheeler 1948.

…несколько долгих минут. S: F-W, 473; cf. Pais 1986, 459, но это объединяет возражения Теллера и Бора.

…«Я рассказал им слишком много». F-Sch.

…вернувшись в Принстон. Arthur Wightman, interview, Princeton, N. J.

…«как я был польщен?» Quoted in Schweber, forthcoming.

…«как он надеялся, анонимно». Feynman 1948e, 9.

…«Большая часть конференции…» Там же, 5.

…имя Фейнмана в списке. Schwinger 1983, 342.

…уроженцем Токио. Tomonaga 1966, 127–129.

…«я снова занялся физикой». Quoted in Julian Schwinger, ‘Two Shakers of Physics,” in Brown and Hoddeson 1983, 357–358.

…Томонага жил. Schweber, forthcoming.

…«Мы выслушали…» Oppenheimer to Members of the Pocono Conference, 5 April 1948, OPP.

…«Кто-то печатает свои работы». Dyson 1965a, 428.

…Швингер публикуется. Schwinger 1983, 341.

…«О чем мы говорим». Schwinger, interview.

…«Ваш внезапный отъезд из Итаки». Lloyd P. Smith to Feynman, 13 June 1947, CIT.

…его спутник казался. WDY, 65.

…нравилась роль. Dyson to parents, 25 June 1948.

…современная Америка. Dyson to parents, 14 June 1948.

…на Двадцатой улице. Morrison 1946; SYJ, 118.

…не встречал человека. Dyson 1979, 59; Dyson to parents, 25 June 1948.

…ехали по Кливленду. Dyson 1979, 60–61.

…ему казалось. F-W, 532.

…никогда не видел. Dyson 1979, 59.

…по радио передавали. Dyson to parents, 25 June 1948.

…в отеле сменились хозяева. WDY, 65.

…маленькой комнатушке. Dyson 1979, 59.

…номер был относительно чистым. WDY, 66. Dyson, far from taking offense, merely commented that he had left out “the best part of the story.” Dyson 1989, 38.

…дождливую ночь. Dyson 1979, 63.

…«В среду возвращается Оппенгеймер». Dyson to parents, 10 October 1948, quoted in Schweber, forthcoming.

…«На полях не хватило места». Leonard Eyges to Dyson, quoted in Schweber, forthcoming.

…унифицированную разработку темы. Dyson 1949a, 486.

…«Отец непостижим». Dyson 1989, 35–36.

…внятного изложения своих теорий. Dyson to parents, 4 October 1948.

…«И в результате…» Там же.

…их оценка порождает. Dyson 1949a, 491.

…записать элементы матрицы. Там же, 495.

…теорией Швингера. Oppenheimer 1948.

…надеюсь, ты не раззвонил всем. Feynman to Dyson, 29 October 1948, CIT.

…«Что ж, док, теперь ты в деле». Dyson to parents, quoted in Schweber, forthcoming.

…не владел ни языком… NL, 452.

…он поймал Слотника. F-W, 489–492; NL, 452; F-Sch; Schweber, forthcoming.

…«А как же расчеты Слотника?» Later Case sent Feynman his manuscript, and Feynman found an algebraic error that undermined the proof. F-W, 495–96.

…манерой провозглашать. Schwinger 1983, 343.

…«Остаточная масса частиц». Feynman 1948b, 943.

…«прекрасно понимаем друг друга». Dyson to parents, 1 November 1948.

…студенты Фейнмана Baranger, interview.

…все вокруг твердили. Cf. F-W, 501.

…на Вентцеля они не произвели. Crease and Mann 1986, 143.

…подход свободен. Feynman 1949b, 773.

…на страницах альманаха. F-W, 499.

…летом 1950-го. J. Ashkin, T. Auerbach, and R. Marshak, “Notes on a Possible Annihilation Process for Negative Protons,” Physical Review 79(1950): 266.

…«Этой техникой мы обязаны Фейнману». K. A. Brueckner, “The Production of Mesons by Photons,” Physical Review 79(1950): 641.

…расчет элементов матрицы. Segrè 1980, 274.

…подобно кремниевой микросхеме. Schwinger 1983, 343.

…«педагогикой, а не физикой». Там же, 347.

…опыт можно анализировать. Там же, 343.

…дробный подход потеряет. Bernstein 1987, 63.

…пугала способность Швингера. Sheldon Glashow, interview, Cambridge, Mass.

…позднее Мюррей Гелл-Манн. Murray Gell-Mann, interviews, Pasadena and Chicago.

…было кое-что еще. Например, статья Вирджинии Преветт “Я поселился в Бразилии” в Saturday Evening Post, 22 April 1950, 10, начинается так: «Это будет первым пристанищем для атомной бомбы в Новом Мире». Cf. F-W, 551.

…сорокапроцентная вероятность. Wheeler to Feynman, 29 March 1951, CIT.

…бразильский физик. Lopes 1988; J. Leite Lopes, personal communication.

…поддавшись минутному порыву. Jayme Tiomno to Feynman, 6 March 1950, PERS. The Brazilians replied that a one-year appointment was the best they could offer at the time.

…надоело стоять на коленях. F-W, 546; Bacher, interview.

…всех минусов жизни в маленьком городке. Feynman to Bacher, 6 April 1950, PERS.

…не хочу предлагать задачу. Там же.

…давным-давно (никак не вчера). Cvitanović 1983, 6.

КАЛТЕХ

Полезными источниками в написании этой главы стали три исторических и краеведческих работы о Калифорнийском техническом университете и Калифорнии: «Школа Милликена» Джудит Голдстейн (Millikan’s School), «Пасадена: жемчужина долины» Энн Шайд (Pasadena: Crown of the Valley) и «Изобретая мечту» Кевина Старра (Inventing the Dream). Я также опирался на эссе Роберта Каргона «Храм науки» (Temple to Science) и воспоминания бывших профессоров, студентов и администраторов Калтеха. Информация о жизни Фейнмана в Бразилии почерпнута из воспоминаний Жозе Лейте Лопеса (1988 год и из личного общения), Сесиль Дьюитт-Моретт и других свидетелей; из переписки Фейнмана с Ферми 1951 года; воспоминаний Браунелла 1952 года; лекции Фейнмана «Проблема преподавания физики в Латинской Америке» (1963a) и публикаций Бразильского центра физических исследований.

Доступ к документации о секретном расследовании правительства в отношении Фейнмана и его консультаций с Госдепартаментом по поводу поездки в СССР был предоставлен мне по закону о свободе информации по результатам запросов, направленных в ФБР, ЦРУ, министерство обороны и министерство энергетики в 1988 и 1989 годах. Корреспонденция с Госдепартаментом частично находится в архивах Калтеха. В написании раздела о сверхтекучести мне помогали Роберт Шриффер, Ханс Бете, Майкл Фишер и Расселл Доннелли. Доннелли поделился письменными воспоминаниями некоторых своих коллег. Мемуары Андроникашвили 1990 года — превосходный отчет о тех событиях с точки зрения русского ученого. Информация о физике частиц в 1950-е и 1960-е годы почерпнута из протокола Рочестерской конференции, остроумных мемуаров Джона Полкингхорна (1989) и «неформальной истории» Джереми Бернстайна (1989); отчета Роберта Маршака (1970); протокола симпозиума «От пионов до кварков: физика частиц в 1950-е», составленного Брауном, Дрезденом и Ходдесоном; и интервью с учеными, имена которых я привожу. Рассказы о личных отношениях Фейнмана основаны на письмах и интервью, источник которых я не могу указать из соображений приватности. Взгляды Фейнмана на гравитацию описаны в его пятнадцатистраничном письме Виктору Вайскопфу, написанном в январе и феврале 1961 года, в Фарадеевской лекции (1961b), в единственной опубликованной работе (1965b) и конспектах калтеховских лекций. Подробная хроника создания теории кварков и партонов с разных точек зрения есть у Эндрю Пикеринга (1984) и Майкла Риордана (1987). Кроме того, заметки Фейнмана этого периода довольно упорядочены, что для него необычно. Риордан и Бертон Рихтер провели для меня информативную экскурсию по Стэнфордскому центру линейного ускорителя; кроме того, я опирался на воспоминания Джеймса Бьоркена, Джорджа Цвейга, Сидни Дрелл, Юн-су Цай и, разумеется, Мюррея Гелл-Манна. В описании болезни Фейнмана я полагался на заметки и корреспонденцию из его архива и интервью с докторами С. М. Хаскеллом, Уильямом Брэдли и Инь Чан Ким. В написании главы о расследовании катастрофы «Челленджера» использован протокол слушания и публикация отчета комиссии, личные заметки Фейнмана и меморандумы комиссии (из архивов Калтеха и PERS — системы оценки компетентности министерства обороны США); неопубликованная расшифровка устных записей Фейнмана, сделанных Ральфом Лейтоном (опубликованных позднее), интервью с участниками комиссии, должностными лицами и инженерами НАСА и другими

свидетелями (Уильям Роджерс был единственным, кто отказался от общения, несмотря на мои неоднократные просьбы провести интервью). Карл Фейнман поделился рукописью научного труда, над которым работал Фейнман до самого своего поступления в больницу, где он скончался.

…Калифорнийский технологический институт. J. Goodstein 1991, 180.

…В Пасадене, расположенной в шестнадцати километрах. Morrow Mayo, quoted in Scheid 1986, 156.

…ни одного обеда и ужина. Letter to the Editor, Los Angeles Times, 6 March 1931, quoted in J. Goodstein 1991, 100.

…«Возможно ли, что у углерода…» F-W, 559.

…«Дорогой Ферми». Feynman to Enrico Fermi, 19 December 1951; Fermi to Feynman, 18 January 1952 and 28 April 1952, AIR Some of Feynman's meson work that year emerges in Lopes and Feynman 1952.

…«Не верьте вычислениям». Feynman to Fermi, 19 December 1951.

…«физики открыли». Fermi and Yang 1949, 1739.

…проводил дни на пляже. Lopes, personal communication.

…«не могу освежить голову». Fermi to Feynman, 18 January 1952, AIP.

…основы электромагнетизма. Feynman 1963a.

…свет, падающий на материал. Там же, 26.

…спрашивал их, что произойдет. SYJ, 192.

…определение триболюминесценции. Даже когда ему было уже за 60, Фейнман продолжал изучать способы интенсификации этого феномена в субстанциях, которым дал кодовые названия ЗК (зеленые карамельки) и С (сахароза). Feynman to J. Thomas Dickenson, 13 May 1985, CIT.

…«Разве это наука?» SYJ, 197.

…«Назовите четыре вида телескопов. H. Feynman 1963a, 24.

…сидя за столиком в кафе. Joan Feynman, interview.

…чувство стабильности. Feynman 1963a, 24.

…Филип Моррисон, с которым у Фейнмана. Morrison, interview.

…записался в местную школу. SYJ, 185.

…на карнавале 1952 года. Lopes, personal communication.

…почти никто не писал. F-W, 564; Feynman to Oppenheimer, 27 May 1952, OPP.

…патио отеля «Мирамар»: Bertram J. Collcutt to Feynman, 2 December 1985, CIT.

…приглашал на свидания. SYJ, 183–184.

…сформировать традицию. Mead 1949, 4.

…каково учить. Michels 1948, 16.

…слишком много усилий. Feynman, note, n.d., PERS.

…«Разве возможно пережить…» SYJ, 168.

…«Ты хуже проститутки». Там же, 169–170.

…Еще до свадьбы, в переписке. Mary Louise Bell to Feynman, 30 May 1950 and 24 March 1952, PERS.

…«Как правило, девушки…» Bell to Feynman, 26 February 1952, PERS.

…медовый месяц провели в Мексике. SYJ, 286.

…она не знала, что и подумать. Mary Louise Bell, telephone interview.

…любила распространяться о том. Bell, interview.

…«Нет дыма без огня». Gell-Mann, interview.

…«умышленно, неправомерно…» Complaint for Divorce, 6 June 1956, Superior Court, Los Angeles County. "Final Adjustment of Property Settlement," handwritten agreement, 16 October 1956, PERS.

…«Грохот от барабанов стоял жуткий». "Beat Goes Sour: Calculus and African Drums Bring Divorce," Los Angeles Times, 18 July 1956.

…прежнее место работы. Feynman to Bethe, 26 November 1954, BET.

…дошли новости. SYJ, 211–212.

…тем временем Бете хоть и обрадовался… Bethe to Feynman, 3 December 1954, BET.

…Чикагский университет был готов. Goldberger, interview; SYJ, 213.

…прикладным наукам. Cf. Forman 1987 and Kevles 1990.

…наука едва могла двигаться. DuBridge, quoted in Forman 1987.

…и финансировались ускорители даже не за счет крошек со стола военных разработок, а за счет пустых чеков от чиновников, убежденных, что физики могут сотворить чудо. Ведущий физик-экспериментатор Луис Альварес признался физику и историку Абрахаму Пайсу: «После войны военные присылали нам пустые чеки, в которые можно было вписать любую сумму — и все потому, что мы добились таких успехов. Случись все иначе, нас считали бы злодеями. Но вышло так, что нам никогда не приходилось волноваться о деньгах». Pais 1986, 19.

…в 1954 году министр армии США. Minutes of Executive Session, Army Scientific Advisory Panel, 17 November 1954, CIT; F-W, 599–601.

…«Вот те на!». Feynman to Lucille Feynman, n.d., PERS.

…обнародовал же новость… "Einstein Award to Professor, 35,"

New York Times, 14 March 1954; F-W, 673.

…в Комиссии по атомной энергии начались в апреле. Atomic Energy Commission 1954.

…«Даже если у человека много пороков, не следует превращать его добродетель в орудие против него самого». Через десять лет он испытывал смятение из-за своего решения. «Я знал, что произошло с Оппенгеймером, знал, что к этому каким-то образом причастен Страусс, и мне это не нравилось, ясно? И я решил — я все исправлю. Это же нехорошо. Я не хочу принимать у него эту премию. Черт с ней, решил я. Я подумал: но что, если я откажусь от премии? Что тогда будет? Меня это обеспокоило, потому что в каком-то смысле мне казалось, что это несправедливо. Человек предлагает мне денежную премию — пытается сделать что-то хорошее, — и он же не впервые это делает, насколько мне известно, премию Эйнштейна вручали и раньше. Я был в смятении». F-W, 673–674.

…дело, заведенное на Фейнмана в ФБР. 497 pages, partly expurgated, FOI.

…профессор Фейнман. Bethe to M. Evelyn Michaud, 7 April 1950, and Michaud to Bethe, 27 March 1950, BET.

…ее главный разработчик. Sakharov 1990, 190–191.

…может быть это интересно. Feynman to Atomic Energy Commission, 14 January 1955, CIT. Also: Feynman to State Department, 14 January 1955, FOI.

…в целях пропаганды. Walter J. Stoessel, Jr., “Invitation to United States Physicist to Attend Scientific Conference,” confidential memorandum, Department of State, 21 January 1955, FOI; Stoessel, Jr., to Feynman, 15 March 1955, CIT.

…необходимо учитывать. Feynman to A. N. Nesmeyarrov, 14 March 1955, CIT.

…рассуждения о сверхтекучести. Lectures, II-40-1.

…теоретиками сухой воды. Lectures, II-40-3 and III-4-12.

…двумя городами в осаде. Feynman 1957a, 205.

…норвежским для начинающих. Donnelly 1991b.

…одна из этих концепций. Feynman 1955b, 18.

…выступающие не поняли. Russell Donnelly, telephone interview.

…и пытался воссоздать картину. Feynman 1953c, 1302.

…сложность состояла в том… «Сложнейшая задача, касающаяся проблемы гелия, была решена одним лишь физическим обоснованием, без каких-либо записей… Было очень-очень интересно разобраться с этой чертовой штукой, ничего не записывая». F-W, 739.

…лежал в постели. F-W, 693–695.

…кольца напоминали. Feynman 1958a, 21.

…«типично фейнмановском». Donnelly, interview.

…«Кажется, я нашел…» Note, “Possibly I understand…” n.d., CIT.

…Шриффер присутствовал. Robert Schrieffer, telephone interview; Feynman 1957a.

…нас не извиняет. Feynman 1957a, 212.

…получившие свое название в честь… Pais 1986, 461; Polkinghorne 1989, 20.

…уже через несколько лет в таблице частиц… Polkinghorne 1989, 21.

…«Джентльмены, произошло вторжение». C. F. Powell, at a 1953 conference, quoted in Polkinghorne 1989, 48.

…Физик Марсель Шайн. Crease and Mann 1986, 178.

…у вас на каждый случай есть отдельная теория. F-W, 603–605.

…Если экспериментатор… Barry Barish, interview, Pasadena.

…он считал, что Пайс неправ. Gell-Mann 1982, 399.

…когда Мюррею Гелл-Манну было четырнадцать. Columbiana 1944 (Columbia Grammar and Preparatory School), 28; Bernstein 1987, 20.

…Мюррей будет единственным. Ralph Leighton, interview, Pasadena.

…успешным делом. Gell-Mann, interview.

…что его брат подхватит. Gell-Mann 1989b, 3.

…когда Вайскопф намекнул… Gell-Mann, interview.

…Фейнман ощутил укол зависти. F-W, 670; SYJ, 223.

…а Гелл-Манн, в то время находившийся в Чикаго… «Другой причиной была зависть… Меня возмущала та огласка, которую получила схема Пайса. Я же не сомневался, что она была неверна!» Gell-Mann 1982, 399.

…однако редакторы The Physical Review. Gell-Mann 1953; Gell-Mann 1982, 400.

…с какой стати непредвзято мыслящий… Quoted in Polkinghorne 1989, 49. Similarly, the historian). Л. Хейлброн: «Странность — слово редко употребляемое в романских языках и означающее едва ощутимое удивление… Не выражает ли новая терминология таким образом цинизм и пренебрежение теоретиков, изучающих частицы, к их собственному творению?» An Historian’s Interest in Particle Physics,” in Brown et al. 1989, 53.

…той зимой, когда умер Ферми. Gell-Mann, interview.

…его тело кремировали. Thomas S. Harvey, telephone interview; William L. Laurence, “Key Clue Sought in Einstein Brain,” New York Times, 20 April 1955; Steven Levy, “My Search for

Einstein's Brain," New Jersey Monthly, August 1978, 43.

…различными учеными XIX века. Gould 1981.

…мозг Эйнштейна. Obler and Fein 1988, 6.

…«Светлые, проницательные, глубокие умы». Duff 1767, 5.

…«необузданная, неуправляемая сила». Там же, 9.

…воображение — это свойство… Там же, 6–7.

…по гениальности тот превосходит. Gerard 1774, 13.

…непростое решение этого вопроса. Там же, 18.

…они надеялись. Quoted in Root-Bernstein 1989, 1.

…студент-физик изучает теорию квантового поля. Coleman, interview.

…разговор начался с геометрии и логарифмов. Hood 1851, 10–11.

…астрофизик Вилли Фаулер. Thorne, interview; Fowler, interview conducted by Charles Weiner, 30 May 1974, AIP: «Я просто думал, что Фейнман нес чепуху. Что он вообще хотел сказать? Какое отношение может иметь общая теория относительности ко всему этому?»

…«Фейнман уже расписался…» John S. Rigden, interview, New York.

…«Почему я называю его магом?». Quoted in Dyson 1979, 8–9.

…«никакой таинственности». Dyson 1979, 8.

…физиология гения. Lombroso 1891, xiii.

…сколько угодно прославлять. Currie 1974.

…«Я нисколько не преувеличиваю». Quoted in Grartan 1933, 156.

…«Мистер Эдисон не чародей». Quoted in LaFollette 1990, 97.

…«Эдисон не волшебник». Grartan 1933, 151.

…«ремесло честных трудяг». Dyson 1979, 9.

…выискивал общие принципы. Там же, 62–63.

…«Что такое ум?». WDY, 220.

…зная, на что способен Ферми. Zuckerman 1977.

…«Мне кажется, если бы он не обладал такой…» Coleman, interview.

…говоря о научном воображении. Lectures, II-20-10.

…«не отвлеченные мысли». Там же.

…«Мы и так работаем на пределе воображения». CPL, 127–128.

…«Нам так много известно…» Feynman to Welton, 10 February 1947, CIT.

…совпадения между физической картиной». Там же.

…молодые часто добиваются. Feynman 1965c.

…Велтон тоже считал. Welton, interview: «Я сказал: «Дик, подумай сейчас, оглядываясь назад, что бы было, если бы я

рассказал тебе о КЭД. Ты бы тогда знал слишком много и не смог бы столько всего открыть». И он ответил: «Да, ты прав”».

…«О, если бы я прочел фразы». Attributed to Khakheperressenb, quoted in Lentricchia 1980, 318.

…«Время титанов в искусстве прошло». Quoted by Scott Spencer, “The Old Man and the Novel,” New York Times Magazine, 22 September 1991, 47.

…дело не в том, что гиганты. Gould 1983, 224.

…бесконечные примечания. Merton 1961, 72.

…вопросы всегда казались мне. Feynman to James T. Cushing, 21 October 1985, CIT.

…Вайскопф заявил. Polkinghorne 1989, 61.

…Фейнман как-то признался группе. Millard Susman, personal communication, 29 May 1989.

…«Вроде бы все нормально». Untitled videotape, n.d., recorded for the British Broadcasting Corporation; cf. Gardner 1969, 22–23.

…химики могут создать любые молекулы. Feynman 1965e, 98–100.

…потратил целые выходные. Gell-Mann, interview.

…а в 1956-м, к Рочестерской конференции. Pais 1986, 524.

…в поезде из Рочестера. Там же, 525.

…один из физиков спросил Фейнмана. «Я упомянул об этом, потому что думал, что четность не сохранится, но допускал, что может быть иначе. Другими словами, я бы не поставил сто к одному, но вполне поставил бы пятьдесят». F-W, 721.

…невероятный исход. Ballam et al. 1956, 27.

…пространственно-временные. Там же, 28.

…«председатель конференции». Там же.

…не верю, что Господь — слабак и левша. Quoted in Bernstein 1967, 59–60.

…«мы больше не пытаемся закручивать». Sheldon Penman, quoted in Gardner 1969, 244.

…на конференции 1957 года. Polkinghorne 1989, 65.

…«наперебой уверяли, что никогда». Там же, 64–65.

…отказывался рецензировать научные работы для журналов. «Для меня это бесконечная работа… Я устроен иначе. Я мыслю иначе. Я не могу выполнять все эти шаги и следовать им. Если мне интересна задача, я дочитаю работу до тех пор, пока задача не станет ясна, а потом попробую решить ее по-своему… Но читать и проверять решение по шагам — этого я не могу».F-W, 715.

…весьма опрометчиво. Feynman to Theodore Caris, 5 December 1961, CIT.

…делаешь это постоянно. F-W, 727–728; Joan Feynman.

…Ли отметил. In Ascoli et al. 1957.

…читая статью Ли и Янга. F-W, 724.

…идея понравилась. F-W, 725–726; SYJ, 228.

…простое равенство.

$$\left[\left(p_\mu - A_\mu\right)^2 + \underline{\sigma}\cdot\left(\underline{B} + i\underline{E}\right)\right]x = m^2 x$$

"and you can get ψ from x and vice versa":

$$\psi = \left(\frac{(\not{p} - \not{A}) + m}{2m}\right)\begin{pmatrix} x \\ x \end{pmatrix}$$

$$x = (1 + i\gamma_5).$$

…«Что, если бы мое уравнение…» Feynman 1957b, 43.

…«этого, разумеется, делать нельзя». Там же.

…Маршак и Сударшан встретились с Гелл-Манном. Далее последовало неприятное выяснение, кто был первым. Маршака и Сударшана тревожило то, что Гелл-Манн узнал об их работе в июле; Гелл-Манн же заметил, что размышлял о векторно-осевом произведении «уже много лет». Маршак и Сударшан упустили возможность выступить на Рочестерской конференции в апреле, когда Фейнман описал свое двухкомпонентное уравнение Дирака, и всю оставшуюся жизнь перечисляли причины, помешавшие им высказаться ранее. К их глубочайшему недовольству, большинство физиков ссылались на работу Гелл-Манна и Фейнмана, а не на Маршака и Сударшана. Они любили цитировать великодушное замечание Фейнмана и повторяли его неоднократно еще долгое время: «У нас есть классическая теория слабых взаимодействий, созданная Маршаком и Сударшаном, опубликованная Фейнманом и Гелл-Манном и завершенная Кабиббо…» (Фейнман, 1974b). Feynman 1974b.

…«я вскочил со стула». F-W, 729–30.

…однако Гелл-Манн решил. Gell-Mann, interview.

…тут в дело вмешался. Gell-Mann, Bacher, interviews.

…в университетских коридорах и столовой. Matthew Sands, interview, Santa Cruz, Calif.

…Гелл-Манну оно далось нелегко. Гелл-Манн говорил об этом в интервью: «Он [Фейнман] записал свою версию теории с

использованием двухкомпонентных формул и очень этим гордился. Мне же не нравился его подход; он казался мне неуклюжим излишеством. Я добавил к работе много материала, хорошего и плохого, но отойти от двухкомпонентного формализма мне так и не удалось. К моему великому сожалению». Gell-Mann 1983b; Gell-Mann, interview.

…«Один из авторов представленной…» Feynman and Gell-Mann 1958a, 194.

…теоретически разумного обоснования. Там же, 193.

…«В какой-то момент я понял…» Edson 1967, 64.

…хрупки и неполны. Feynman and Gell-Mann 1958b.

…экспрессивными жестами. Polkinghorne 1989, 72.

…«Вы говорите по-английски?». Gweneth Feynman, interview.

…пришел на пикник. Susman, personal communication.

…новой эры в истории. “Red Moon over U.S.,” Time, 14 October 1957, 27.

…усилия были направлены. “The Red Conquest,” Newsweek, 14 October 1957, 38.

…внимание прессы обратилось… Quoted in “The Feat That Shook the Earth,” Life, 21 October 1957, 25.

…наш образ жизни обречен. Там же, 23.

…кудряв и привлекателен. “Bright Spectrurn,” Time, 18 November 1957, 24.

…научного и технического первенства. “In Science,” Newsweek, 20 January 1958, 65.

…не за горами технологическое господство. “Knowledge Is Power,” Time, 18 November 1957, 21.

…«Не время для истерии». Reader’s Digest, December 1957, 117.

…чиновник Госдепартамента наведался в Калтех. Фейнман: «…человек из Госдепартамента заявил, что имя Мюррея тоже должно значиться в списке [участников Женевской конференции], чтобы произвести впечатление. Это меня очень огорчило. Не участие Мюррея, нет, но вся эта политическая дрянь. Они вызывают нас и говорят: там будет много русских, значит, американцев должно быть больше… когда пропаганду смешивают с наукой, это просто дрянь, понимаете». F-W, 744.

…эта гостиница напомнила. WDY, 63–65.

…путешествует по миру. Gweneth Feynman, interview.

…«Я решила все-таки остаться здесь». Gweneth Howarth to Feynman, 13 October 1958, PERS.

…обратился к адвокату. Sands, interview.

…подсчитал расходы. Gweneth Howarth to Feynman, 1 November 1958, PERS.

…«Ты же сообщишь мне». Gweneth Howarth to Feynman, 1 December 1958, PERS.

…«какие я делаю успехи?». Gweneth Howarth to Feynman, 2 January 1959, PERS.

…«Тебе же нужен кто-то». Gweneth Howarth to Feynman, 14 January 1959, PERS.

…умная девушка. Feynman to American Consulate General, Zurich, 22 January 1959, PERS.

…избегать встреч с Энгельбертом. Gweneth Howarth to Feynman, 14 February 1959.

…отвечала на вопросы. Gweneth Feynman, interview.

…адвокаты Фейнмана. Samuel C. Klein to Robert F. Diekman, 22 September 1959, and Robert F. Diekman to Feynman, 30 September 1959, PERS.

…«Ну наконец-то!». Feynman to Gweneth Howarth, 28 May 1959, PERS.

…подсовывать ему цветные рубашки. Gweneth Feynman, interview.

…никому не рассказывал. Gweneth Feynman, Gell-Mann, interviews.

…«Вот тебе и начало семейной жизни». Gweneth Feynman, interview.

…за несколько лет до этого взял в жены. Gell-Mann 1989a, 50.

…навсегда врезалась. Там же.

…«Привет, дорогая!». Feynman to Gweneth Feynman, 11 October 1961, PERS.

…возраст плохо влиял. E.g. Kragh 1989, 347n.

…передать степень соответствия. QED, 7.

…«вычисляем элементы формулы». Feynman 1961a, 17.

…обернули все в свою пользу. Schweber, forthcoming.

…определяющий принцип. Weinberg 1977a, 33.

…«игрой в наперстки», «черт-те чем» и «надувательством». QED, 128.

…электрон искажает. Feynman 1955a; Feynman et al. 1962.

…гонорар в Калтехе. Salary records, Lee DuBridge papers, CIT.

…благодушно замечал. Susman, personal communication.

…Фейнман решил. F-W, 751.

…лето 1960 года. Notebook, “Biochemical Techniques,” CIT; F-W, 751.

…«понять, что известно. F-W, 753.

…сосредоточился на изучении… Benzer 1962; Crick 1962; Crick 1966.

…сравнил появление. Susman, personal communication.

…его друзья в лаборатории… Robert Sinsheimer to Feynman,

n.d., “Dear Feyntron…,” CIT; “Mutual Suppression of rII Mutants of Bacteriophage T4D,” draft by Robert Sinsheimer, CIT. F-W, 752: «Я знал, что они были очень интересны и необычны, но не записал. Несмотря на это, он внес вклад в фундаментальную работу по генетике». Edgar, Feynman, et al. 1961.

…преимущество все же осталось. Crick et al. 1961; Crick 1962.

…механизм прочтения генетического кода E. Crick 1966, 55–56.

…квантово-механическое размытие. Gell-Mann 1989a, 53.

…сила гравитации слаба. Alexander J. Glass, letter to Physics Today, May 1988, 136.

…провести такой эксперимент. Feynman to Weisskopf, 4 January to 11 February 1961, WHE.

…квантовая механика не работает. Там же.

…на конференции по гравитации. Feynman 1963b.

…«С 1916 года технический прогресс…» Quoted in Schucking 1990, 486.

…перешучивались по поводу. Feynman to Gweneth Feynman, n.d., in WDY, 90.

…каковы ваши достижения. Schucking 1990, 483.

…обязательные признаки. Feynman to Gweneth Feynman, n.d., in WDY, 91–92.

…реальным фундаментом. Gell-Mann 1989a, 54.

…на рынке появился прибор Feynman 1960a, 22–24.

…высказал мысль об изобретении. Идею еще более крошечных серворегулируемых рычагов предсказал в научной фантастике писатель РобертХайнлайн, который назвал их Манипуляторами. Cf. Regis 1990, 142.

…«Как построить автомобиль меньше точки». Popular Science Monthly, November 1960, 114.

…выплатил лишь в 1985 году. Thomas H. Newman to Feynman, 30 January 1986, CIT.

…а в июне… William McLellan, telephone interview; “McLellan Micromotor,” note, CIT.

…«Ого». McLellan, interview.

…официальную премию. Feynman to McLellan, 15 November 1960.

…ничего общего с фундаментальной физикой. Feynman 1960a, 22.

…о чем мы говорим, реально. Feynman to Ashok Arora, 4 January 1967, CIT.

…движение пробкового мяча. F-W, 760.

…историческое развитие. Beyer and Williams 1957. Cf. Lindsay 1940, Bonner and Phillips 1957, and Mendenhall et al. 1950.

…древний учебник. Millikan et al.

…если вода. Lectures, I-1-9.

…Путеводитель по непонятному. F-W, 762.

…команда профессоров. Sands, interview; D. Goodstein 1989, 74.

…физике до 1920 года. Lectures, I-2-3.

…не обнаружение. Lectures, I-3-9.

…анализе турбулентных жидкостей. Там же.

…до сих пор не знаем. Lectures, I-3-10.

…пора заканчивать. F-W, 765.

…четко просчитывал. Sands, interview.

…гениальную аналогию. Lectures, I-4-2.

…все зависит от того. Lectures, I-17-2.

…опытные ученые. Stabler 1967, 48; Lectures, I-20-7.

С. 399: чудесная штука. Lectures, I-20-7.

…храповик и собачка. Lectures, I-46-9.

…шли месяцы. F-W, 766.

…недавно я разговаривал. D. Goodstein 1989, 74.

…странно. CPL, 13.

…«человеческое лицо»: Tord Pramberg to Feynman, 15 November 1966, and Feynman to Tord Pramberg, 4 January 1966, CIT.

…«Когда вы найдете этому объяснение». Feynman to Ashok Arora, 4 January 1967, CIT.

…«С этого вопроса началась философия…» Heidegger 1959, 20.

…Все спутники вращаются по эллипсу. CPL, 19.

…И все законы такие же. Там же, 33.

…«Но во всех случаях будет действовать…» Там же, 34.

…А между тем никто не знает. Там же, 19.

…«Наука отвергает философию». Quoted in Ziman 1978, 1.

…«Ни одно из понятий…» Park 1988, XX.

…тащились на шаг позади, как туристы. CPL, 173.

…«Любые вопросы о теории…» Slater, “Electrodynamics of Ponderable Bodies,” Journal of the Franklin Institute 225(1938): 277. Quoted by Schweber, forthcoming.

…«как воспринимает закон отдельный человек». CPL, 169.

…Гелл-Манн, в свою очередь, отреагировал. SYJ, 290.

…Они высчитывали какое-то число. CPL, 169.

…«Допустим», — говорит астроном. Там же, 170.

…он поразил Дайсона. Dyson to his parents, October 1948.

…«Да нет, это не так уж и существенно». Dyson, interview; Dyson 1990.

…Он не стремился переработать. Dyson 1990, 210.

…«разные идеи для построения загадок». CPL, 168.

…Если результат отличался хоть немного. Там же, 169.

…что еще объясняет эта теория. Stephen Wolfram, telephone interview.

…«У меня два магнита». Untitled videotape, n.d., recorded for the British Broadcasting Corporation.

…«Мне кажется, лучшее, что мы можем сделать». Quine 1987, 109.

…«постсхоластическая эпоха». Ziman 1992.

…«Ученому хорошо известно, что такое заблуждения». Feynman 1955c, 14.

…«Великая ценность философии невежества». Notes, “The Uncertainty of Science,” PERS.

…«персонального Бога». Dan L. Thrapp, “Science, Religion Conflict Traced,” Los Angeles Times, 30 June 1956. Cf. Feynman 1956a.

…«Я очень сомневаюсь…». Интервью Биллу Стоуту для Viewpoint, Калтех. Фейнман жаловался на ситуацию: «Однажды мне сказали, что мои взгляды могут оттолкнуть людей… Я рассматриваю ваш отказ использовать записанную со мной программу как прямую цензуру, направленную на выражение моей точки зрения». Feynman to Bill Whitley, 14 May 1959, CIT..Feynman to Bill Whitley, 14 May 1959, CIT.

…«основу всего сущего». Polkinghorne 1990.

…«Поэты утверждают, что наука…» Lectures, I-3-6 n.

…«Я со многими говорил о летающих тарелках». Feynman 1963c, 62.

…«Если это не чудо». Там же, 64.

…«оранжевых светящихся шарах». Там же, 61.

…«Со мной тоже произошел необыкновенный случай». Там же, 66.

…«Я сидел в своей комнате наверху…» Там же.

…топают ногой. Fine 1991, 271.

…уроком аналитической и континентальной. Там же, 274.

…Нобелевский комитет присудил. “Nobel Prize for Einstein,” New York Times, 10 November 1922, 4.

…как символ достижения. Zuckerman 1977, 11.

…премия имела огромное значение. Каждой осенью, когда близилось вручение премии. «Я всегда считал, то есть я знал, что могу получить Нобелевскую премию, потому что кто-то посчитает мое исследование гелия, или бета-распада, или даже электродинамики достойным… И каждый год, когда начинали ходить слухи о вручении, я думал: а что, это же возможно». F-W, 800–801.

…прибыл факс от Western Union. Erik Rundberg to Feynman, 21 October 1965, PERS.

…первый звонок раздался. F-W, 801; Richard Feynman Nobel Laureate! California Tech, 22 October 1965, 1.

…«Дружище, если бы я мог вкратце…». F-W, 804.

…позвонил Джулиан Швингер. Schwinger, interview.

…«Я хотел порадовать тебя». Feynman to Lucille Feynman, n.d., PERS.

…поступали судовые телеграммы. F-W, 806.

…прыгая обеими ногами. Там же, 808–9.

…никогда не читал. Там же, 812.

…он считал, что по вине историков… Feynman 1965a.

…есть привычка. Там же.

…насколько я был глуп. Там же.

…велик шанс. Feynman 1965c.

…столкнулся с этой проблемой. Там же.

…Шанс, что ваша теория. Feynman 1965a.

…«Доктор Крик благодарит…» Quoted in Zuckerman 1977, 224.

…обязуется уплатить. Giuseppe Cocconi to Victor F. Weisskopf, 2 February 1976, CIT

…все началось с того, что Фейнман… Feynman to B. L. Kropp, 9 November 1960, CIT.

…желание уйти. Feynman to Detlev W. Bronk, 10 August 1961. CIT.

…«Благодарю вас за то». Detlev W. Bronk to Feynman, 26 October 1961, CIT.

…«Полагаю, у вас нет альтернативы». Philip Handler to Feynman, 25 June 1969, CIT.

…«Получил ваше не совсем понятное письмо» NOTE: Philip Handler to Feynman, 31 July 1969, CIT.

…он отказался, сдержав обещание. George W. Beadle to Feynman, 4 January 1967, and William J. McGill to Feynman, 16 February 1976, CIT.

…«вдохнуть струю свежего воздуха». Martin Mann to Feynman, 13 September 1962, and reply, CIT.

…подписывать петиции. E.g., Feynman to Margaret Gardiner, 15 May 1967, CIT.

…прислали вместе с анкетой. R. Hobart Ellis, Jr., to Feynman, 25 August 1966, and reply, CIT.

…прятался за дверью. Helen Tuck, interview, Pasadena.

…особую премию. Goldberger, interview.

…«Наверняка было непросто так жить». Holton, interview.

…исполнилось шестьдесят. R. E. Marshak to Feynman, 11 May

1965, and reply, CIT.

…«Не позволяйте никому». Feynman to James D. Watson, 10 February 1967, CIT.

…речь идет о теории Янга — Миллса. Gell-Mann 1983a, 3.

…«Кстати, некоторые называют…» Там же.

…Гелл-Манн отлично понимал, в чей огород этот камень. На мемориальной службе по Фейнману в 1989 году Гелл-Манн заметил: «Всем известно, что Ричард считал необязательным умение различать виды птиц… Он искал другие способы выделиться из толпы и предпочитал не наблюдать за птицами вовсе». Talk at Feynman memorial, San Francisco, 18 January 1989.

…«спокойно сидел за столом». Riordan 1987, 192.

…«Мюррей носит маску человека…» Coleman, interview.

…«писк, щебет, кряки и кварки». Quoted in Crease and Mann 1986, 185.

…Цвейг, гораздо более чувствительный. Zweig 1981.

…«Наглядная модель кварков». Zweig, interview.

…«Забавно размышлять о том…» Gell-Mann 1964.

…«Я всегда считал эти слова закодированным посланием». Polkinghome 1989, 110.

…Для Гелл-Манна эти уколы… «Все двадцать семь лет люди неправильно это понимали». Gell-Mann, interview.

…«Я всегда считал…» F-W, II-26.

…кварки не входили. Zweig, interview; F-W, II-15.

…одной пузырьковой камере. Traweek 1988, 52–53.

…строение наручных часов. Quoted in Riordan 1987, 151–52.

…собирались физики. Riordan 1987, 149.

…удивительную закономерность. Bjorken 1989, 57; Bjorken, telephone interview.

…в «Оксфордском словаре английского языка». Каждый гипотетический точечный элемент нуклона Фейнман использовал для объяснения того, как нуклон неупруго рассеивает очень высокоэнергетические электроны. A Supplement to the Oxford English Dictionary, 279.

…были свои партоны. Feynman 1969b, 241.

…предпочел не определять. Feynman to Michael Riordan, 26 February 1986, CIT.

…появились фейнмановские диаграммы. Bjorken 1989, 56.

…В 1970 году Фейнман. Feynman et al. 1971.

…обратился в кваркерианство. F-W, II-47.

…кварковая картина. Feynman et al. 1971, 2727.

…Гелл-Манну пришлось не по душе. «Это были кварки и антикварки (и иногда глюоны), но он не желал называть их своими именами. Сначала он был даже не уверен, что это за

частицы, но со временем все прояснилось, и меня раздражало, что он по-прежнему не хочет признавать, что речь идет о кварках. В конце концов некоторые авторы начали даже говорить о «кварковых партонах» — как будто партоны чем-то отличались от обычных кварков. Так называемая партонная модель была приблизительным описанием кварков и глюонов, применимым в соответствующих высокоэнергетических пределах, если взаимодействие частиц становилось слабым на коротких расстояниях (так и оказалось в квантовой хромодинамике). Дик нарисовал наивную картинку, а ее восприняли не просто как приближение неизвестной теории, а как абсолютную истину». «Во всем мире физики узнали о партонной модели, заучили ее и тут же стали использовать для интерпретации экспериментов. Другими словами, Дик чрезмерно упростил картину, чтобы ее смогли использовать все». Из личного общения с Гелл-Манном. Gell-Mann, personal communication.

…высокий карточный домик. Feynman 1972c.

…Я немного расстроен: F-W, II-86.

…номинировать на нее. They never knew it. B. Wagel to Feynman, 26 January 1977, CIT. Gell-Mann, Zweig, interviews.

…Джи-джи-джи, джу-джу. F-L.

…спустя много лет. Michelle Feynman, Carl Feynman, Gweneth Feynman, interviews.

…что-то я замерзла. Leighton, interview.

…Я готов был его убить. Feynman to Sheila Sorenson, 21 October 1974, CIT.

…играй на трубе, будь социальным работником, да хоть марки собирай: Feynman to Carl Feynman, 18 February 1980, PERS.

…пытался понять. Там же.

…что заставляет их двигаться. Feynman 1966a.

…сказать первокласснику: Там же, 14.

…не используя слово. Там же, 15.

…ботинки изнашиваются. Там же, 16.

…прочел тридцать четыре. D. Goodstein 1989, 73.

…не смог упростить эту концепцию. Там же. 75.

…употребления новых слов. Feynman 1964a, 16.

…сомневаюсь, что есть дети. Там же, 3.

…тысяча таких уловок. Michelle Feynman, interview.

…да нет же, хочешь: Gweneth Feynman, interview.

…отправились в швейцарские Альпы. Gweneth Feynman, interview.

…к тому времени опухоль. C. M. Haskell, interview, Los Angeles.

…пять лет после операции. Sheldon C. Binder, Bertram Katz,

and Barry Sheridan, “Retroperitoneal Liposarcoma,” Annals of Surgery, March 1978, 260.

…Вы уже старик, папаша Фейнман. “Father Feynman,” n.d., CIT.

…Вместе со студентом постдокторантуры. Feynman et al. 1977; Field and Feynman 1977; Field and Feynman 1978.

…Фейнман не знал. Richard Field, telephone interview.

…вникнуть в физический смысл. Victor F. Weisskopf to Feynman, 23 March 1979, CIT.

…квантовая хромодинамика. “Qualitative Behavior,” typescript for Feynman 1981, CIT.

…рецидив опухоли. In Chang Kim, interview, Pasadena.

…тридцать семь литров крови. Haskell, interview. Gweneth Feynman, interview.

…оценить вероятность. Cvitanović, interview.

…моя жена. Douglas R. Hofstadter, telephone interview.

…не достиг ровным счетом ничего. Feynman to Robert B. Leighton, 10 June 1974, CIT.

…А на кой черт позвали Фейнмана. Feynman to Sidney Coleman, 13 August 1976, CIT.

…агрессивного простачка. Carl Feynman, interview.

…терпеливо слушал. SYJ, 303–5.

…люди из высших эшелонов. He titled the talk, “Los Alamos from Below.” Feynman 1975, 105.

…мог причислить. SYJ, 306.

…случайные заработки. E.g., Jon N. Leonard to Feynman, 3 November 1987, and Peter H. Hambling to Feynman, 4 August 1987, CIT.

…гиганты физики. Feynman to Philip Morrison, 23 May 1972, CIT.

…рассадник антинауки. SYJ, 309.

…обращались с вопросами. Videotape, courtesy of Ralph Leighton.

…в каталоге Эсалена их рекламировали. Quoted in Leighton 1991, 83–84.

…Гвинет стала замечать. Gweneth Feynman, interview; William G. Bradley, interview.

…но вы же не видите. Feynman to William G. Bradley, 13 July 1984, CIT.

…засеките время. Weiner, interview.

…проставлять даты на научных записях. F-W, II-4.

…сегодня я был. F-L.

…на следующее же утро. Там же.

…смотрите, — сказал я. SYJ, 236.

…остался недоволен книгой. E.g., Tuck, interview. C. 451: «Конечно, я ошибался». SYJ, 229. Фейнман также изменил следующую фразу: вместо «мы с Мюрреем Гелл-Манном описали эту теорию в своей работе» написал «мы с Мюрреем Гелл-Манном сравнили и объединили наши идеи и описали эту теорию в своей работе» («Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман»). Гелл-Манн по-прежнему называл его автобиографию «книгой шуток». Он знал, что Фейнман ненамеренно приписал себе незаслуженную славу, и, тем не менее, ему было обидно. «Он не воровал идеи, вовсе нет — даже щедро ими делился, — говорил он. — Просто иногда он забывал о существовании других людей».

…симпатичная блондиночка. SYJ, 241 and 168.

…пошел на свидание с девушкой. Lectures, I-3-7.

…Дорогой Ротштейн. “Protest,” mimeograph sheet, CIT.

…немалоприятных часов. Jenijoy La Belle, interview, Pasadena; “Feynman Commends La Belle,” letter to California Tech, 5 March 1976; La Belle 1989.

…увлекаемся женщиной. NL, 435.

…что же произошло с той теорией. NL, 456.

…в мире физики. Feynman 1972e, 1.

…мистер Фейнман не шутит. Morrison 1985, 43.

…его автобиографией: Feynman to Robert Crease, 18 September 1985, CIT. And Feynman to Klaus Stadler, 15 October 1985, CIT: «Это говорит о совершенном непонимании самой сути моей книги… Это ни в коем случае не научная и не серьезная литература. Это даже не автобиография. Просто сборник коротких, не связанных между собой, историй, предназначенных для среднестатистического читателя, которые, надеемся, его повеселят».

…кем я на самом деле был. Feynman to Crease.

…занимавшее целую комнату. Hibbs, interview.

…через полчаса работы. Richard Witkin, “Canaveral Hopes for Success Fade,” New York Times, 6 March 1958, 1.

…в окружении штатных сотрудников: “Табличка с именем Рейгана на месте взрыва шаттла,” Walter V. Robinson, Washington Post, 4 February 1986, 1.

…Армстронг заявил. “President Names 12-Member Panel in Shuttle Inquiry,” Gerald Boyd, New York Times, 4 February 1986, 1.

…мы не станем подвергать. Там же. На первом закрытом совещании комиссии 10 февраля он подчеркнул: «Это не соревнование. Ни в коем случае комиссию нельзя рассматривать как некое состязание…». Report, IV, 244.

…портите жизнь. William R. Graham, telephone interview.

…страдал уже давно. Haskell, interview.

…отказывался даже думать. Haskell, interview.

…созвал на совещание. Hibbs, interview; Charles Lifer, interview; Winston Gin, interview; WDY, 119–21.

…Роджерс открыл. Report, IV, 1.

…Мур заявил. Там же, 21.

…корпорации Morton Thiokol. Там же, 97.

…на следующий день —7 февраля. Esp. David Sanger, “NASA Seems Surprised By Aggressive Queries,” New York Times, 7 February 1986, A19.

…с осторожностью отвечал. Report, IV, 220.

…мне известно лишь одно. Там же, 221.

…целью наших вопросов: Там же, 222.

…вы не ожидали. Там же, 224.

…второй пилот первому: Donald J. Kutyna, interview, Peterson Air Force Base, Colo.; WDY, 126.

…изображение резинового кольца. Report, IV, 224.

…Отсутствие дополнительной герметизации. “August 19, 1985 Headquarters Briefing,” Report, I, 139; WDY, 135.

…гибели корабля, миссии и экипажа. “NASA Had Warning of a Disaster Risk Posed by Booster,” Philip Boffey, New York Times, 9 February 1986, 1.

…этот карбюратор на холоде течет. WDY, 139–40; Kutyna, interview. Фейнман ошибочно вспоминает это как телефонный разговор.

…Полагаю, всем понятно. Report, IV, 244.

…Лоренс Маллой, управляющий проектом. Там же, 291.

…штукатурка и резина. Там же, 347.

с. 464: остается в деформированном состоянии. Там же, 345.

…довел эти сведения. WDY, 146.

…встревожены и опечалены. David Sanger, personal communication.

…Вы же на самом деле не хотели. Report, IV, 380–82.

…Маллой открыто признал. “NASA Acknowledges Cold Affects Boosters Seals,” Philip Boffey, New York Times, 12 February 1986, 1.

…своими глазами увидел. Dyson 1992, 284.

…объем смет: WDY, 214.

…в одном из наиболее продуктивных. Report, I, 1.

…огромным и загадочным. WDY, 158.

…Кутина говорил. Kutyna, interview; WDY, 156.

…в промежутке между этими поездками. F-L.

…решительно настроен. Feynman to Gweneth Feynman, 12 February 1986, quoted in WDY, 157.

…настоятельно рекомендует. WDY, 200–201.

…использования резиновых колец. E.g. Report, I, Appendix H;

Graham, interview.

…по его подсчетам. Feynman 1986, F-2.

…русской рулетки: Report, I, 148.

…данные необходимо было осмыслить. Там же, IV, 817.

…группа статистиков. Dalai et al. 1989; Bruce Hoadley, telephone interview.

…некоторые инженеры. WDY, 182–83.

…для успешной работы. Feynman 1986, F-5.

Эпилог

…во избежание конфуза. Lectures, I-16-1.

…принцип неопределенности. Lectures, I-6-10.

…видели в этом принципе. Hawking 1987, 55.

С.470: обычно считается. Lectures, I-38-9.

…разлетается брызгами. Там же

С.471: «Пятьдесят лет исследований…». Cahn and Goldhaber 1989, IX.

С.472: «искусственной интеллектуальной структурой». Schwartz 1992, 173.

…«Вы ищете…» F-Sy.

С.472: близки к завершению. Hawking 1987, 156.

С.472: «Я всю жизнь от кого-нибудь слышу…». Interview conducted by P. C. W. Davies, transcript, CIT.

…«ваша карьера как раз охватывает…». Interview conducted by Robert Crease, 22 February 1985; transcript, courtesy of Crease. Robert Crease to Feynman, 18 July 1985, CIT.

…«познакомились с Диком». Robert Crease to Feynman, 18 July 1985, CIT.

…«Забудьте про „локальные минимумы“». Hillis 1989, 82.

…самостоятельные изыскания. Feynman 1982; Feynman 1984.

…мир слепых ученых. Lectures, II-20-11.

…«Все мы стали редукционистами». Weinberg 1987a, 66; Weinberg, personal communication.

…бесконечном разнообразии и новизне явлений. Lectures, II-41-12.

…«Он также может верить». Einstein and Infeld 1938, 31.

…одного из величайших философов. Mermin 1985, 47; Feynman 1982, 471.

…«Я решил, что не стоит читать его заранее». Feynman to Lee Dye, 23 September 1987, CIT.

…контур облаков. Ulam 1976, XI.

…«скоро умру». Michelle Feynman, interview.

…за ним присматривали. Joan Feynman, Gweneth Feynman, and Frances Lewine, interviews.

…многому научил людей. Hillis 1989, 83.

Библиография Фейнмана

Почти все работы Фейнмана записаны с его слов и опубликованы во множестве вариантов, причем не только официальных. Ни у самого Фейнмана, ни в библиотеке Калтеха нет полного списка. Некоторые лекции постоянно переиздавались в журналах и сборниках, версии их либо идентичны, либо содержат незначительные отличия. Другие существуют только в виде записей, предшествовавших событиям, студенческих рукописных заметок, университетских препринтов, машинописных отрывков, отредактированных и нет, протоколах конференций, компьютерных файлов или видео- и аудиозаписей. Некоторые рукописи сохранились и могут быть напечатаны, другие — не что иное, как наброски на салфетках, разрозненные и непоследовательные. Ниже приводится своеобразный путеводитель по работам Фейнмана. В него вошли те, что издавались в различных формах, неизданные, а также другие важные заметки и документы, упоминаемые в этой книге.

1933–34. “The Calculus: Scribble-In Book.” Notebook. AIP.

1935. “The Calculus of Finite Differences.” *The f(x)*. Far Rockaway High School Mathematics Club. January, 1. CIT.

Feynman and Welton, T. A. 1936–37. Notebook. AIP.

1939*a*. “Forces and Stresses in Molecules.” Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of bachelor of science in physics. AIP.

1939*b*. “Forces in Molecules.” *Physical Review* 56:340.

Vallarta, M. S., and Feynman. 1939. “The Scattering of Cosmic Rays by the Stars of a Galaxy.” *Physical Review* 55:506.

1940. “Notebook of Things I Don’t Know About.” Notebook. CIT.

1941*d*. “The Interaction Theory of Radiation.” Typescript. AIP.

1941*b*. “Particles Interacting thru an Intermediate Oscillator.” Draft pages toward Ph.D. thesis. PERS.

Feynman and Wheeler, John Archibald. 1941. “Reaction of the Absorber as the Mechanism of Radiative Damping. Abstract.” *Physical Review* 59: 682.

1942*a*. Ph.D. thesis manuscript. CIT.

1942*b*. “The Principle of Least Action in Quantum Mechanics.” Ph.D. thesis, Princeton University.

1942*c*. *Effects of Space Charge; Use of Sine Waves*. Isotron Report no. 2, 5 January. SMY.

1942*d*. *Kinematics of the Separator*. Isotron Report no. 7, 14 April. SMY.

1942*e*. *The Design of the Buncher and Analyzer*. Isotron Report no.

17, 26 August. SMY.

1942*f*. *A Note on the Cascade Operation of Isotrons*. Isotron Report no. 20, 8 September. SMY.

Wheeler, John Archibald, and Feynman. 1942. "Action at a Distance in Classical Physics: Reaction of the Absorber as the Mechanism of Radiative Damping." Typescript. AIP.

1943*d*. *The Operation of Isotrons in Cascade*. Isotron Report no. 29, 27 January. SMY.

1943*b*. *Factors Which Influence the Separation*. Isotron Report no. 35, 22 February. SMY.

1944. "Theoretical Department." Unsigned draft typescript for Smyth 1945. LANL.

Ashkin, J.; Ehrlich, R.; and Feynman. 1944. "First Report on the Hydride." Typescript, 31 January. LANL.

1945. "A New Approximate Method for Rapid Calculation of Critical Amounts of X." Typescript. LANL.

Wheeler, John Archibald, and Feynman. 1945. "Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation." *Reviews of Modern Physics* 17:157.

1946*a*. *Amplifier Response*. Los Alamos Reports, LA-593. LANL.

1946*b*. *A Theorem and Its Application to Finite Tampers*. Los Alamos Reports, LA-608, Series B. LANL.

Feynman and Bethe, Hans A. 1946. Abstract for New York Meeting of the American Physical Society, 19–21 September. Typescript. CIT.

1947. "Theory of Positrons." Notes. CIT.

Feynman and Welton, T. A. 1947. The *Calculation of Critical Masses Including the Effects of the Distribution of Neutron Energies*. Los Alamos Reports, Series B, LA-524. LANL.

1948*a*. "Space-Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics." *Reviews of Modern Physics* 20:367.

1948*b*. "A Relativistic Cut-Off for Classical Electrodynamics," *Physical Review* 74:939.

1948*c*. "Relativistic Cut-Off for Quantum Electrodynamics." *Physical Review* 74: 1430.

1948*d*. "Pocono Conference." *Physics Today*, June, 8.

1948*e*. "Pocono Conference." Typescript. LOC.

1948*f*. Paper T5: "Theory of Positrons." Talk prepared for American Physical Society meeting in January 1949. CIT.

1949*a*. "The Theory of Positrons." *Physical Review* 76:749.

1949*b*. "Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics." *Physical* Review 76:769.

Feynman; Metropolis, Nicholas; and Teller, Edward. 1949. "Equations of State of Elements Based on the Generalized Fermi-

Thomas Theory." *Physical Review* 75:1561.

Wheeler, John Archibald, and Feynman. 1949. "Classical Electrodynamics in Terms of Direct Interparticle Action." *Reviews of Modern Physics* 21:425.

1950. "Mathematical Formulation of the Quantum Theory of Electromagnetic Interaction." *Physical Review* 80:440.

1951*a*. "An Operator Calculus Having Applications in Quantum Electrodynamics." *Physical Review* 84:108.

1951*b*. "The Concept of Probability in Quantum Mechanics." Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California, Berkeley, 1950:533.

Brown, Laurie M., and Feynman. 1952. "Radiative Corrections to Compton Scattering." *Physical Review* 85:231.

Lopes, J. Leite, and Feynman. 1952. "On the Pseudoscalar Meson Theory of the Deuteron." Symposium on New Research Techniques in Physics, 15–29 July.

1953*a*. "The Lambda Transition in Liquid Helium." *Physical Review* 90:1116.

1953*b*. "Atomic Theory of Lambda Transition in Helium." *Physical Review* 91:1291.

1953*c*. "Atomic Theory of Liquid Helium near Absolute Zero." *Physical Review* 91:1301.

1953*d*. "Atomic Theory of Liquid Helium." Talk at the Theoretical Physics Conference in Tokyo, September 1953. In *Notas de Físicas* 12.

1954*a*. "Atomic Theory of the Two-Fluid Model of Liquid Helium." *Physical Review* 94:262.

1954*b*. "The Present Situation in Fundamental Theoretical Physics." *Academia Brasileira de Ciencias* 26:51.

Feynman; Baranger, Michel; and Bethe, Hans A. 1954. "Relativistic Correction to the Lamb Shift." *Physical Review* 92:482.

Feynman and Speisman, G. 1954. "Proton-Neutron Mass Difference." *Physical Review* 94:50.

1955*a*. "Slow Electrons in a Polar Crystal." *Physical Review* 97:660.

1955*b*. "Application of Quantum Mechanics to Liquid Helium." In *Progress in Low Temperature Physics*. Edited by C. J. Goiter. Amsterdam: North Holland.

1955*c*. "The Value of Science." Transcript of address at the autumn 1955 meeting of the National Academy of Sciences. In *Engineering and Science*, June, 3.

Feynman and Cohen, Michael. 1955. "The Character of the Roton State in Liquid Helium." *Progress in Theoretical Physics* 14:261.

1956*a*. "The Relation of Science and Religion." *Engineering and Science*, June, 20.

1956*b*. "Dr. Feynman Replies to Mr. Sohler's 'New Hypothesis.'" *Engineering and Science*, October, 52.

Feynman and Cohen, Michael. 1956. "Energy Spectrum of the Excitations in Liquid Helium." *Physical Review* 102:1189.

Feynman; de Hoffmann, Frederic; and Serber, Robert. 1956. "Dispersion of the Neutron Emission in U-235 Fission." *Journal of Nuclear Energy* 3:64.

1957*a*. "Superfluidity and Superconductivity." *Reviews of Modern Physics* 29:205.

1957*b*. "Alternative to the Two-Component Neutrino Theory." Remarks at the Seventh Annual Rochester Conference on High-Energy Physics, 15–19 April. In Ascoli et al. 1957, IX-42.

1957*c*. "The Role of Science in the World Today." *Proceedings of the Institute of World Affairs* 33:17.

Feynman; Vernon, F. L.; and Hellwarth, Robert W. 1957. "Geometric Representation of the Schrodinger Equation for Solving Maser Problems." *Journal of Applied Physics* 28:49.

Cohen, Michael, and Feynman. 1957. "Theory of Inelastic Scattering of Cold Neutrons from Liquid Helium." *Physical Review* 107:13.

1958*a*. "Excitations in Liquid Helium." *Physica* 24:18.

1958*b*. "A Model of Strong and Weak Couplings." Typescript. CIT.

1958*c*. "Forbidding of ♀ — β Decay." Talk at Annual International Conference on High Energy Physics at CERN, Geneva, 30 June-5 July. In Ferretti 1958.

Feynman and Gell-Mann, Murray. 1958*a*. "Theory of the Fermi Interaction." *Physical Review* 109:193.

Feynman and Gell-Mann, Murray, 1958*b*. "Theoretical Ideas Used in Analyzing Strange Particles." Manuscript for Geneva Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. CIT.

Feynman and Gell-Mann, Murray. 1958*c*. "Problems of the Strange Particles." *Proceedings of the Second Geneva Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*.

1960*a*. "There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics." Talk at the annual meeting of the American Physical Society, 29 December 1959. In *Engineering and Science*, February, 22.

1960*b*. "The Status of the Conserved Vector Current Hypothesis." In Sudarshan et al. 1960, 501.

1961*a*. "The Present Status of Quantum Electrodynamics." Talk for 1961 Solvay Conference. Typescript. CIT. In *Extrait des Rapports et Discussions, Solvay*. Institut International de Physique, October.

1961*b*. "Theory of Gravitation." Faraday Lecture, 13 April. Transcript. PERS.

1961*c*. *Quantum Electrodynamics.* New York: W. A. Benjamin.

1961*d*. *Theory of Fundamental Processes.* New York: W. A. Benjamin.

Edgar, R. S.; Feynman; Klein, S.; Lielausis, I.; and Steinberg, C. M. 1961. "Mapping Experiments with *r* Mutants of Bacteriophage T4D." *Genetics* 47:179.

Feynman; Hellwarth, R. W.; Iddings, C. K.; and Platzman, P. M. 1962. "Mobility of Slow Electrons in a Polar Crystal." *Physical Review* 127:1004.

1963*a*. "The Problem of Teaching Physics in Latin America." Transcript of keynote speech given at the First Inter-American Conference on Physics Education in Rio de Janeiro. In *Engineering and Science*, November, 21.

1963*b*. "The Quantum Theory of Gravitation." *Acta Physica Polonica* 24:697.

1963*c*. "This Unscientific Age." John Danz Lectures. Transcript. CIT.

Feynman; Leighton, Robert B.; and Sands, Matthew. 1963. *The Feynman Lectures on Physics*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Feynman and Vernon, F. L. 1963. "The Theory of a General Quantum System Interacting with a Linear Dissipative System." *Annals of Physics* 24:118.

1964*a*. "Comments on the New Arithmetic Textbooks." Typescript. PERS.

1964*b*. "Theory and Applications of Mercerau's Superconducting Circuits." Draft typescript. CIT.

Feynman; Gell-Mann, Murray; and Zweig, George. 1964. "Group $U(6) \times U(6)$ Generated by Current Components." *Physical Review Letters* 13:678.

1965*a*. "The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics." Nobel Prize in Physics Award Address, Stockholm, 11 December. In *Les Prix Nobel en 1965* (Stockholm: Nobel Foundation, 1966); in *Physics Today*, August 1966, 31; in *Science* (1966) 153:699; and in Weaver 1987, 2:433.

1965*b*. "The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics." Transcript, physics colloquium at California Institute of Technology, 2 December. CIT.

1965*c*. "The Development of the Space-Time View of Quantum Electrodynamics." Talk at CERN, Geneva, 17 December. Tape courtesy of Helen Tuck.

1965*d*. Address to Far Rockaway High School. Transcript. CIT.

1965*e*. *The Character of Physical Law*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

1965*f*. "New Textbooks for the 'New' Mathematics." *Engineering*

and Science, March, 9.

1965*g*. "Consequences of *SU*(3) Symmetry in Weak Interactions." In *Symmetries in Elementary Particle Physics*, III. New York: Ettore Majorana Academic Press.

Feynman and Hibbs, Albert R. 1965. *Quantum Mechanics and Path Integrals*. New York: McGraw-Hill.

1966*a*. "What Is Science?" Address to National Science Teachers Association, 1–5 April. Corrected transcript. PERS.

1966*b*. "What Is and What Should Be the Role of Scientific Culture in Modern Society?" *Supplemento al Nuovo Cimento* 4:292.

1969*a*. "What Is Science?" *The Physics Teacher*, September, 313.

1969*b*. "The Behavior of Hadron Collisions at Extreme Energies." Talk at Third International Conference on High Energy Collisions, State University of New York, 5–6 September. In Yang et al. 1969, 237.

1969*c*. "Very High-Energy Collisions of Hadrons." *Physical Review Letters* 23:1415.

1970. "Partons." Talk at Symposium on the Past Decade in Particle Theory, University of Texas at Austin, 14–17 April. In Sudarshan and Ne'eman 1973, 773.

Thornber, K. K., and Feynman. 1970. "Velocity Acquired by an Electron in a Finite Electric Field in a Polar Crystal." *Physical Review* B10:4099.

Feynman; Kislinger, M.; and Ravndal, F. 1971. "Current Matrix Elements from a Relativistic Quark Model." *Physical Review* D3:2706.

1972*a*. "Closed Loops and Tree Diagrams." In Klauder 1972, 355.

1972*b*. "Problems in Quantizing the Gravitational Field, and the Massless Yang-Mills Field." In Klauder 1972, 377.

1972*c*. *Photon-Hadron Interactions*. New York: W. A. Benjamin.

1972*d*. *Statistical Mechanics: A Set of Lectures*. New York: W. A. Benjamin.

1972*e*. "The Proton Under the Electron Microscope." Oersted Medal Lecture. Manuscript. PERS.

1972*f*. "What Neutrinos Can Tell Us About Particles." In *Proceedings of Neutrino '72 Europhysics Conference*. Budapest: OMKD Technoinform.

1974. "Structure of the Proton." Talk at Dansk Ingeniorforening, Copenhagen. *Science* 183:601.

1974*b*. "Conference Summary." Talk at International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics, Philadelphia, 28 April. Typescript. CIT.

1975. "Reminiscences of Wartime Los Alamos." Talk at University of California at Santa Barbara. Audio tapes. AIP. Edited version in *Engineering and Science*, January, 11. Also in Badash et al. 1980, 105.

Excerpted in *SYJ*, 90. [Page references to Badash et al.]

1976. “Gauge Theories.” Lecture at Les Houches, Session 29.

1977. “Correlations in Hadron Collisions at High Transverse Momentum.” Talk at Orbis Scientiae 1977, University of Miami, Coral Gables, Florida.

Feynman, Field, Richard D.; and Fox, Geoffrey C. 1977. “Correlations among Particles and Jets Produced with Large Transverse Momenta.” *Nuclear Physics* B 128:1.

Field, Richard D., and Feynman. 1977. “Quark Elastic Scattering as a Source of High Transverse Momentum.” *Physical Review* D15:2590.

1978. Talk at Julian Schwinger’s 60th birthday celebration. AIP.

Field, Richard D., and Feynman. 1978. “A Parametrization of the Properties of Quark Jets.” *Nuclear Physics* B136:1.

1981. “The Qualitative Behavior of Yang-Mills Theory in 2 + 1 Dimensions.” *Nuclear* Physics B188:479.

1982. “Simulating Physics with Computers.” *International Journal of Theoretical Physics* 21:467.

1984. “Quantum Mechanical Computers.” Plenary talk at IQEC–CLEO Meeting, Anaheim, 19 June. Typescript.

1985*a*. *Surely You’re Joking, Mr. Feynman! Adventures of a Curious Character*. New York: Norton.

1985*b*. *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton: Princeton University Press.

1986. “Personal Observations of Reliability of Shuttle.” In *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*, II-F.

1987*a*. “The Reason for Antiparticles.” In Feynman and Weinberg 1987, 1.

1987*b*. “Negative Probability.” In Hiley and Peat 1987, 235.

1987*c*. “Linear D Dimensional Vector Space.” Manuscript. PERS.

Feynman and Weinberg, Steven. 1987. *Elementary Particles and the Laws of Physics: The 1986 Dirac Memorial Lectures*. Cambridge: Cambridge University Press.

1988. *What Do You Care What Other People Think? Further Adventures of a Curious Character*. New York: Norton.

Библиография

Albers, Donald J., and Alexanderson, G. L., eds. 1985. *Mathematical People: Profiles and Interviews*. Boston: Birkhäuser.

Albert, Robert S., ed. 1983. *Genius and Eminence: The Social Psychology of Creativity and Exceptional Achievement*. New York: Pergamon Press.

Alt, Franz L. 1972. "Archeology of Computers: Reminiscences, 1945–1947." *Communications of the Association for Computing Machinery*, July, 693.

Anderson, Philip W. 1972. "More Is Different." *Science* 177:393. In Weaver 1987, 3:586.

Andronikashvili, Elevter L. 1990. *Reflections on Liquid Helium*. Translated by Robert Berman. New York: American Institute of Physics.

Ascoli, G.; Feldman, G.; Koester, Jr., L. J.; Newton, R.; Riesenfeld, W.; Ross, M.; and Sachs, R. G., eds. 1957. *High Energy Nuclear Physics*. Proceedings of the Seventh Annual Rochester Conference, 15–19 April. New York: Interscience.

Aspray, William. 1990. *John von Neumann and the Origins of Modern Computing*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Atomic Energy Commission. 1954. "In the Matter of J. Robert Oppenheimer." Transcript of Hearings before Personnel Security Board.

Badash, Lawrence; Hirschfelder, Joseph O.; and Broida, Herbert P., eds. 1980. *Reminiscences of Los Alamos*, 1943–1945. Dordrecht: Reidel.

Ballam, J.; Fitch, V. L.; Fulton, T.; Huang, K.; Rau, R. R.; and Treiman, S. B., eds. 1956. *High Energy Nuclear Physics*. Proceedings of the Sixth Annual Rochester Conference, 3–7 April. New York: Interscience.

Bashe, Charles J.; Johnson, Lyle R.; Palmer, John H.; and Pugh, Emerson W. 1986. *IBM's Early Computers*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Battersby, Christine. 1989. *Gender and Genius: Towards a Feminist Aesthetics*. London: Women's Press.

Benzer, Seymour. 1962. "The Fine Structure of the Gene." *Scientific American*, January, 70.

Berenda, Carlton W. 1947. "The Determination of Past by Future Events: A Discussion of the Wheeler-Feynman Absorption-Radiation Theory." *Philosophy of Science* 14:13.

Berkeley, George. 1952. *The Principles of Human Knowledge*. Chicago: University of Chicago Press.

Berland, Theodore. 1962. *The Scientific Life*. New York: Coward-McCann.

Bernal, J. D. 1939. *The Social Function of Science*. New York: Macmillan.

Bernstein, Jeremy. 1967. *A Comprehensible World: On Modern Science and Its Origins*. New York: Random House.

—. 1980. *Hans Bethe: Prophet of Energy*. New York: Basic Books.

—. 1985. "Retarded Learner: Physicist John Wheeler." *Princeton Alumni Weekly*, 9 October, 28.

—. 1987. *The Life It Brings: One Physicist's Beginnings*. New York: Ticknor and Fields.

—. 1989. *The Tenth Dimension: An Informal History of High Energy Physics*. New York: McGraw-Hill.

Bethe, Hans A. 1979. "The Happy Thirties." In Stuewer 1979, 11.

—. 1988. "Richard Phillips Feynman (1918–1988)." *Nature* 332:588.

Bethe, Hans A.; Bacher, Robert F.; and Livingston, M. Stanley. 1986. *Basic Bethe: Seminal Articles on Nuclear Physics, 1936–1937*. Los Angeles: Tomash/American Institute of Physics.

Bethe, Hans A., and Christy, Robert F. 1944. "Memorandum on the Immediate After Effects of the Gadget," March 30. LANL.

Beyer, Robert T, and Williams, Jr., A. O. 1957. *College Physics*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

Bishop, Morris. 1962. *A History of Cornell*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.

Bjorken, James D. 1989. "Feynman and Partons." *Physics Today*, February, 56.

Bloch, Felix. 1976. "Reminiscences of Heisenberg and the Early Days of Quantum Mechanics." *Physics Today*, December, 23.

Blumberg, Stanley A., and Owens, Gwinn. 1976. *The Life and Times of Edward Teller*. New York: Putnam.

Boden, Margaret A. 1990. *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. New York: Basic Books.

Bohm, David, and Peat, F. David. 1987. *Science, Order, and Creativity*. New York: Bantam.

Bohr, Niels. 1922. Nobel Prize in Physics Award Address, 11 December. In Weaver 1987, 2:315.

—. 1928. "New Problems in Quantum Theory: The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory." *Nature* 121:580.

—. 1935. "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" *Physical Review* 48:696.

Bohr, Niels, and Wheeler, John Archibald. 1939. "The Mechanism of Nuclear Fission." *Physical Review* 56:426.

Boltzman, Ludwig. 1974. *Theoretical Physics and Philosophical Problems*. Edited by Brian McGuinness. Boston: Reidel.

Bondi, Hermann. 1967. *Assumption and Myth in Physical Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bonner, Francis T., and Phillips, Melba. 1957. *Principles of Physical Science*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Born, Max. 1971. *The Born-Einstein Letters: Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955*. Translated by Irene Born. New York: Walker.

Bosanquet, Bernard. 1923. *Three Chapters on the Nature of Mind*. London: Macmillan.

Boscovitch, Roger G. 1922. *A Theory of Natural Philosophy*. Translated by J. M. Child. Chicago: Open Court.

Boslough, John. 1986. "Inside the Mind of John Wheeler." *Reader's Digest*, September, 106.

Bowerman, Walter G. 1947. *Studies in Genius*. New York: Philosophical Library.

Boyd, Richard; Gasper, Philip; and Trout, J. D., eds. 1991. *The Philosophy of Science*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Boyer, Paul. 1985. *By the Bomb's Early Light: American Thought and Culture at the Dawn of the Atomic Age*. New York: Pantheon.

Bridgman, Percy. 1950. *Reflections of a Physicist*. New York: Philosophical Library.

—. 1952. *The Nature of Some of Our Physical Concepts*. New York: Philosophical Library.

—. 1961. *The Logic of Modern Physics*. New York: Macmillan.

Briggs, John. 1988. *Fire in the Crucible: The Alchemy of Creative Genius*. New York: St. Martin's Press.

Brillouin, Leon. 1964. *Scientific Uncertainty and Information*. New York: Academic Press.

Brode, Bemice. 1960. "Tales of Los Alamos." *LASL Community News*, 11 August.

Broglie, Louis de. 1951. "The Concept of Time in Modern Physics and Bergson's Pure Duration." In *Bergson and the Evolution of Physics*. Knoxville: University of Tennessee Press.

Bromberg, Joan. 1976. "The Concept of Particle Creation before and after Quantum Mechanics." *Historical Studies in the Physical Sciences* 7:161.

Brower, Kenneth. 1978. *The Starship and the Canoe*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.

Brown, Laurie M.; Dresden, Max; and Hoddeson, Lillian, eds. 1989. *Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950s*. Cambridge: Cambridge University Press.

Brown, Laurie M., and Hoddeson, Lillian, eds. 1983. *The Birth of*

Particle Physics. Cambridge: Cambridge University Press.

Brown, Lawrason. 1934. *Rules for Recovery from Pulmonary Tuberculosis*. Philadelphia: Lea and Feberger.

Brownell, G. L. 1952. "Physics in South America." *Physics Today*, July, 5.

Bunge, Mario. 1979. *Causality and Modern Science*. New York: Dover.

Cahn, Robert N., and Goldhaber, Gerson. 1989. *The Experimental Foundations of Particle Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Casimir, Hendrik B. G. 1983. *Haphazard Reality: Half a Century of Science*. New York: Harper and Row.

Chamber of Commerce of the Rockaways. 1934. *Annual Year Book of the Rockaways*.

Chandrasekhar, Subrahmanyan. 1987. *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*. Chicago: University of Chicago Press.

Chase, W. Parker. 1932. *New York: The Wonder City*. Facsimile edition. New York: New York Bound, 1983.

Chown, Marcus. 1989. "The Heart and Soul of Richard Feynman." *New Scientist*, 25 February, 65.

Churchland, Paul M, and Hooker, Clifford A. *Images of Science*. Chicago: University of Chicago Press.

Clark, Ronald W. 1971. *Einstein: The Life and Times*. New York: World.

Close, F. E. 1979. *An Introduction to Quarks and Partons*. London: Academic Press.

Cohen, I. Bernard, ed. 1981. *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action.* New York: Arno Press.

Cohen, I. Bernard. 1985. *Revolution in Science*. Cambridge, Mass.: Belknap Press.

Cohen, Michael. 1991. "It Never Passed *Him* By." Typescript.

Cohn, David L. 1943. *Love in America*. New York: Simon and Schuster.

Colodny, Robert G. 1965. *Beyond the Edge of Certainty: Essays in Contemporary Science and Philosophy*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

Compton, Arthur. 1956. *Atomic Quest: A Personal Narrative*. Chicago: University of Chicago Press.

Cooper, Necia Grant. 1989. *From Cardinals to Chaos: Reflections of the Life and Legacy of Stanislaw Ulam*. Cambridge: Cambridge University Press.

Corey, C. L. 1988. *Diary of a Safeman*. Facsimile edition. Streamwood, III.: National Publishing.

Crease, Robert P., and Mann, Charles C. 1986. *The Second Creation*. New York: Macmillan.

Crick, Francis H. C. 1962. “The Genetic Code.” *Scientific American*, October, 66.

—. 1966. “The Genetic Code: III.” *Scientific American*, October, 55.

Crick, Francis H. C.; Barnett, Leslie; Brenner, Sydney; and Watts-Tobin, R. J. 1961. “General Nature of the Genetic Code for Proteins.” *Nature* 192:1227.

Currie, Robert. 1974. *Genius: An Ideology in Literature*. New York: Schocken.

Curtin, Deane W. 1980. *The Aesthetic Dimension of Science*. New York: Philosophical Library.

Curtin, Deane W., ed. 1982. *The Aesthetic Dimension of Science: 1980 Nobel Conference*. New York: Philosophical Library.

Cvitanović, Predrag. 1983. *Field Theory*. Copenhagen: Nordita Classics Illustrated.

Dalai, Siddhartha R.; Fowlkes, Edward B.; and Hoadley, Bruce. 1989. “Risk Analysis of the Space Shuttle: Pre-*Challenger* Prediction of Failure.” *Journal of the American Statistical Association* 84:945.

Davies, John D. 1973. “The Curious History of Physics at Princeton.” *Princeton Alumni Weekly*, 2 October, 8.

Davies, P. C. W. 1974. *The Physics of Time Asymmetry*. Berkeley: University of California Press.

Davis, Nuel Pharr. 1968. *Lawrence and Oppenheimer*. New York: Simon and Schuster.

De Hoffmann, Frederic. 1974. “A Novel Apprenticeship.” In J. Wilson 1975, 162.

De Sitter, Willem. 1932. *Kosmos*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Dedmon, Emmett. 1953. *Fabulous Chicago*. New York: Random House.

Dembart, Lee. 1983. “Nobel Prize: Another Side of the Medal.” *Los Angeles Times*, 4 February, 20.

Descartes, René. 1955. *The Philosophical Works of Descartes*. Translated by E. S. Haldane and G. R. T. Ross. New York: Dover.

D‘Espagnat, Bernard. 1976. *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

—. 1979. “The Quantum Theory and Reality.” *Scientific American,* November, 158.

Dirac, P. A. M. 1928. “The Quantum Theory of the Electron.” *Proceedings of the Royal Society of London* A117:610.

—. 1933. “The Lagrangian in Quantum Mechanics.” *Physikalische Zeitschrift der Sowjetunion* 2:64. In Schwinger 1958.

—. 1935. *The Principles of Quantum Mechanics*. Second edition. Oxford: Clarendon Press.

—. 1946. “Elementary Particles and Their Interactions.”

Typescript. PUL.

—. 1971. *The Development of Quantum Theory*. J. Robert Oppenheimer Memorial Prize Acceptance Speech. New York: Gordon and Breach.

—. 1975. *Directions in Physics*. New York: Wiley and Sons.

Dobkowski, Michael N. 1979. *The Tarnished Dream: Basis of American Anti-Semitism*. Westport, Conn.: Greenwood Press.

Dodd, J. E. 1984. *The Ideas of Particle Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Donnelly, Russell. 1991a. *Quantized Vortices in Helium II*. Cambridge: Cambridge University Press.

—. 199l*b*. "The Discovery of Superfluidity." Manuscript.

Dresden, Max. 1987. *H. A. Kramers: Between Tradition and Revolution*. New York: Springer-Verlag.

Duff, William. 1767. *An Essay on Original Genius*. A facsimile reproduction edited with an introduction by John L. Mohoney. Gainesville, Pa.: Scholars' Facsimiles and Reprints, 1964.

Duga, René. 1955. *A History of Mechanics*. Translated by J. R. Maddox. Neuchatel: Griffon.

Dye, Lee. 1988. "Nobel Physicist R. P. Feynman of Caltech Dies." Los *Angeles Times*, 16 February, 1.

Dyson, Freeman. 1944. "Some Guesses in the Theory of Partitions." *Eureka* 8:10.

—. 1949*a*. "The Radiation Theories of Tomonaga, Schwinger, and Feynman." *Physical Review* 75:486. In Schwinger 1958.

—. 1949*b*. "The S-Matrix in Quantum Electrodynamics." *Physical Review* 75:1736. In Schwinger 1958.

—. 1952. "Divergence of Perturbation Theory in Quantum Electrodynamics." *Physical Review* 85:631.

—. 1965*a*. "Tomonaga, Schwinger, and Feynman Awarded Nobel Prize for Physics." *Science* 150:588. In Weaver 1987, 1:427.

—. 1965*b*. "Old and New Fashions in Field Theory." *Physics Today*, June, 23.

—. 1979. *Disturbing the Universe*. New York: Basic Books.

—. 1980. "Manchester and Athens." In Curtin 1980, 41.

—. 1984. *Weapons and Hope*. New York: Harper and Row.

—. 1987. "A Walk through Ramanujan's Garden." Lecture at the Ramanujan Centenary Conference, University of Illinois, 2 June.

—. 1988*a. Infinite in All Directions*. New York: Harper and Row.

—. 1988*b*. "The Lemon and the Cream." Talk prepared for Gemant Award ceremonies, 25 October. Institute for Advanced Study.

—. 1989. "Feynman at Cornell." *Physics Today*, February, 32.

—. 1990. "Feynman's Proof of the Maxwell Equations." *American Journal of Physics* 58:209.

—. 1992. From Eros to Gaia. New Yoik: Pantheon.

Earman, John. 1989. *World Enough and Space-Time*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Eddington, A. S. 1940. *The Nature of the Physical World*. New York: Macmillan.

Edson, Lee. 1967. "Two Men in Search of the Quark." *New York Times Magazine*, 8 October, 54.

Einstein, Albert. 1909. "Development of Our Conception of the Nature and Constitution of Radiation." *Physikalishe Zeitschrift* 22:1909. In Weaver 1987, 2:295.

Einstein, Albert, and Infeld, Leopold. 1938. *The Evolution of Physics: From Early Concepts to Relativity and Quanta*. New York: Dover.

Erwin, G. S. 1946. *A Guide for the Tuberculous Patient*. New York: Gruneand Stratton.

Far Rockaway High School. 1932. *History of the Rockaways*. Monograph by the students of Far Rockaway High School. Brooklyn Historical Society.

Feinberg, Gerald. 1977. *What Is the World Made Of? The Achievements of Twentieth Century Physics*. Garden City, N.Y: Anchor Press.

Fermi, Enrico. 1932. "Quantum Theory of Radiation." *Reviews of Modern Physics* 4:87.

Fermi, Enrico, and Yang. C. N. 1949. "Are Mesons Elementary Particles?" *Physical Review* 76:1739.

Fermi, Laura. 1954. *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi*. Chicago: University of Chicago Press.

—. 1971. *Illustrious Immigrants: The Intellectual Migration from Europe 1930–41*. Chicago: University of Chicago Press.

—. 1980. "The Fermis' Path to Los Alamos." In Badash et al. 1980.

Ferris, Timothy. 1988. *Coming of Age in the Milky Way*. New York: Morrow.

Ferretti, B., ed. 1958. *Annual International Conference on High Energy Physics at CERN*. Geneva, 30 June–5 July. Geneva: CERN.

Fine, Arthur. 1986. *The Shaky Game: Einstein, Realism, and the Quantum Theory*. Chicago: University of Chicago Press.

—. 1991. "The Natural Ontological Attitude." In Boyd et al. 1991, 271.

Flick, Lawrence F 1903. *Consumption a Curable and Preventable Disease*. Philadelphia: McKay.

Foley, H. M., and Kusch, P. 1948. "On the Intrinsic Moment of the Electron." *Physical Review* 73:412.

Forman, Paul. 1987. "Behind Quantum Electronics: National Security as a Basis for Physical Research in the United States, 1940–

1960." *Historical Studies in the Physical Sciences* 18:149.

Fox, David. 1952. "The Tiniest Time Traveler." *Astounding Science Fiction* (magazine).

Francis, Patricia. 1989. "Science as a Way of Seeing: The Case of Richard Feynman." Manuscript, University of Maryland.

Franklin, Allan. 1979. "The Discovery and Nondiscovery of Parity Nonconservation." *Studies in History and Philosophy of Science* 10:201.

—. 1990. *Experiment, Right or Wrong*. Cambridge: Cambridge University Press.

Frisch, Otto B. 1979. *What Little I Remember*. Cambridge: Cambridge University Press.

Galdston, Iago. 1940. *Progress in Medicine: A Critical Review of the Last Hundred Years*. New York: Knopf.

Galison, Peter Louis. 1979. "Minkowski's Space-Time: From Visual Thinking to the Absolute World." *Historical Studies in the Physical Sciences* 10:85.

—. 1987. *How Experiments End*. Chicago: University of Chicago Press.

Galton, Francis. 1869. *Hereditary Genius: An Inquiry into Its Laws and Consequences*. New York: Horizon Press.

Gamow, George. 1966. *Thirty Years That Shook Physics: The Story of Quantum Theory*. Garden City, N. Y.: Doubleday.

Gardner, Martin. 1969. *The Ambidextrous Universe*. New York: Mentor.

—. 1989. *Hexaflexagons and Other Mathematical Diversions*. Chicago: University of Chicago Press.

Gay, Peter. 1988. *Freud: A Life for Our Time*. New York: Norton.

Gell-Mann, Murray. 1953. "Isotopic Spin and New Unstable Particles." *Physical Review* 92:833.

—. 1964. "A Schematic Model of Baryons and Mesons." *Physics Letters* 8:214.

—. 1982. "Strangeness." *Journal de Physique* 43:395.

—. 1983*a*. "From Renormalizability to Calculability?" In Jackiw et al. 1983, 3.

—. 1983*b*. "Particle Theory from S-Matrix to Quarks." Talk presented at the First International Congress on the History of Scientific Ideas at Sant Feliu de Guixols, Catalunya, Spain.

—. 1989*a*. "Dick Feynman — The Guy Down the Hall." *Physics Today,* February, 50.

—. 1989*b*. Remarks at a Conference Celebrating the Birthday of Murray Gell-Mann, 27–28 January.

Gell-Mann, Murray, and Ne'eman, Yuval. 1964. *The Eightfold Way*. New York: Benjamin.

Gemant, Andrew. 1961. *The Nature of the Genius*. Springfield, III.:

Charles C. Thomas.

Gerard, Alexander. 1774. *An Essay on Genius*. London: Strahan.

Gieryn, Thomas F., and Figert, Anne E. 1990. "Ingredients for a Theory of Science in Society: O-Rings, Ice Water, C–Clamp, Richard Feynman and the New York Times." In *Theories of Science and Society*. Edited by Susan E. Cozzens and Thomas F. Gieryn. Bloomington, Ind.: Indiana University Press.

Gilbert, G. Nigel, and Mulkay, Michael. 1984. *Opening Pandora's Box: A Sociological Analysis of Scientists' Discourse*. Cambridge: Cambridge University Press.

Glashow, Sheldon. 1980. "Towards a Unified Field Theory: Threads in a Tapestry." *Science*, 19 December, 1319.

—. 1988. *Interactions: A Journey through the Mind of a Particle Physicist and the Matter of This World*. With Ben Bova. New York: Warner Books.

Gold, Thomas, ed. 1967. *The Nature of Time*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.

Goldstine, Herman H. 1972. *The Computer from Pascal to Von Neumann*. Princeton: Princeton University Press.

Golovin, N. E. 1963. "The Creative Person in Science." In Taylor and Frank 1963, 7.

Goodstein, David. 1989. "Richard P. Feynman, Teacher." *Physics Today*, February, 70.

Goodstein, Judith R. 1991. *Millikan's School: A History of the California Institute of Technology*. New York: Norton.

Gould, Stephen Jay. 1981. *The Mismeasure of Man*. New York: Norton.

—. 1983. "Losing the Edge." In *The Flamingo's Smile*. New York: Norton.

Grattan, C. Hartley. 1933. "Thomas Alva Edison: An American Symbol." *Scribner's Magazine*, September, 151.

Greenberg, Daniel S. 1967. *The Politics of Pure Science*. New York: New American Library.

Greenberger, Daniel M., and Overhauser, Albert W. 1980. "The Role of Gravity in Quantum Theory." *Scientific American*, May, 66.

Gregory, Bruce. 1988. *Inventing Reality*. New York: Wiley and Sons.

Groueff, Stephane. 1967. *Manhattan Project: The Untold Story of the Making of the Atomic Bomb*. Boston: Little, Brown.

Groves, Leslie. 1975. *Now It Can Be Told*. New York: Da Capo.

Grünbaum, Adolph. 1963. *Philosophical Problems of Space and Time*. New York: Knopf.

Hanson, Norwood Russell. 1963. *The Concept of the Positron: A Philosophical Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.

Harris, Theodore E. 1963. *The Theory of Branching Processes*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.

Hartman, Paul. 1984. "The Cornell Physics Department: Recollections and a History of Sorts." Typescript. Cornell University.

Hawkins, David; Truslow, Edith C.; and Smith, Ralph Carlisle. 1983. *Project Y: The Los Alamos Story*. Los Angeles: Tomash.

Hawking, Stephen W. 1987. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*. New York: Bantam.

Heidegger, Martin. 1959. *An Introduction to Metaphysics*. Translated by Ralph Manheim. New Haven, Conn.: Yale University Press.

Heilbron, J. L., and Seidel, Robert W. 1989. *Lawrence and His Laboratory: A History of the Lawrence Berkeley Laboratory*. Berkeley: University of California Press.

Heisenberg, Werner, ed. 1946. *Cosmic Radiation: Fifteen Lectures*. Translated by T. H. Johnson. New York: Dover.

—. 1971. *Physics and Beyond*. New York: Harper and Row.

Hempel, Carl G. 1965. *Aspects of Scientific Explanation*. New York: The Free Press.

Herbert, Nick. 1985. *Quantum Reality*. Garden City, N.Y.: Anchor Press.

Hesse, Mary B. 1961. *Forces and Fields: The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*. London: Nelson.

Hewlett, Richard G., and Anderson, Jr., Oscar E. 1962. *The New World, 1939/1946: A History of the United States Atomic Energy Commission*. Volume 1. University Park, Pa.: Pennsylvania State University Press.

Hiley, B. J., and Peat, F. David. 1987. *Quantum Implications: Essays in Honour of David Bohm*. London: Routledge and Kegan Paul.

Hillis, W. Daniel. 1989. "Richard Feynman and the Connection Machine." *Physics Today*, February, 78.

Hofstadter, Douglas R. 1979. *Gödel, Escher, Bach*. New York: Basic Books.

—. 1985. *Metamagical Themas*. New York: Basic Books.

—. 1991. "Thinking about Thought." Nature 349:378.

Holton, Gerald, ed. 1965. *Science and Culture*. Boston: Houghton Mifflin.

—. 1972. *The Twentieth-Century Sciences: Studies in the Biography of Ideas*. New York: Norton.

—. 1978. *The Scientific Imagination: Case Studies*. Cambridge: Cambridge University Press.

—. 1988. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Revised edition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Hood, Edwin Paxton. 1851. *Genius and Industry: The Achievements*

of Mind Among the Cottages. London: Partridge and Oakey.

Hudson, Liam, ed. 1970. The Ecology of Human Intelligence. London: Penguin.

Huxley, Thomas H. 1897. *Discourses: Biological and Geological Essays*. New York: Appleton.

Hyman, Anthony. 1982. *Charles Babbage: Pioneer of the Computer*. Oxford: Oxford University Press.

Infeld, Leopold. 1950. *Albert Einstein: His Work and Influence on Our World*. New York: Scribner.

Jackiw, Roman; Khuri, Nicola N.; Weinberg, Steven; and Witten, Edward, eds. 1983. *Shelter Island II: Proceedings of the 1983 Shelter Island Conference on Quantum Field Theory and the Fundamental Problems of Physics*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Jaki, Stanley L. *The Relevance of Physics*. Chicago: University of Chicago Press.

James, William. 1917. *Selected Papers on Philosophy*. London: Dent.

Jammer, Max. 1966. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill.

—. 1974. The *Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: Wiley and Sons.

Jeans, Sir James. 1943. *Physics and Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Jette, Eleanor. 1977. *Inside Box 1663*. Los Alamos, N.M.: Los Alamos Historical Society.

Johnson, Charles W., and Jackson, Charles O. 1981. *City Behind a Fence: Oak Ridge, Tennessee, 1942–1946*. Knoxville: University of Tennessee.

Jourdain, Philip E. B. 1913. *The Principle of Least Action*. Chicago: Open Court.

Judson, Horace Freeland. 1979. *The Eighth Day of Creation: The Makers of the Revolution in Biology*. New York: Simon and Schuster.

Jungk, Robert. 1956. *Brighter Than a Thousand Suns*. New York: Harcourt.

Jungnickel, Christa; and McCormmach, Russell. 1986. *The Now Mighty Theoretical Physics*. Chicago: University of Chicago Press.

Kac, Mark. 1985. *Enigmas of Chance*. New York: Harper and Row.

Kamen, M. D. 1985. *Radiant Science, Dark Politics*. Berkeley: University of California Press.

Kargon, Robert H. 1977. “Temple to Science: Cooperative Research and the Birth of the California Institute of Technology.” *Historical Studies in the Physical Sciences* 8:3.

Kazin, Alfred. 1951. *A Walker in the City*. New York: Harcourt,

Brace.

Kevles, Daniel. 1987. *The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern America*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

—. 1990. "Cold War and Hot Physics: Science, Security, and the American State, 1945–56." *Historical Studies in the Physical Sciences* 20:239.

Klauder, John R., ed. 1972. *Magic Without Magic: John Archibald Wheeler*. San Francisco: W. H. Freeman.

Kragh, Helge. 1989. *Dirac: A Scientific Biography*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kroll, Norman M., and Lamb, Willis E. 1949. "On the Self-Energy of a Bound Electron." *Physical Review* 75:388.

Kuhn, T. S. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

—. 1977. *The Essential Tension*. Chicago: University of Chicago Press.

—. 1978. *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894–1912*. Oxford: Clarendon Press.

Kunetka, James W. 1979. *City of Fire*. Albuquerque: University of New Mexico Press.

Kursunoglu, Behram N., and Wigner, Eugene P. 1987. *Reminiscences about a Great Physicist: Paul Adrien Maurice Dirac*. Cambridge: Cambridge University Press.

La Belle, Jenijoy. 1989. "The Piper and the Physicist." *Engineering and Science,* Fall, 25.

LaFollette, Marcel C. 1990. *Making Science Our Own: Public Images of Science 1910–1955.* Chicago: University of Chicago Press.

Lamb, Willis. 1980. "The Fine Structure of Hydrogen." In Brown and Hoddeson 1983, 311.

Landsberg, P. T., ed. 1982. *The Enigma of Time*. Bristol: Adam Hilger.

Laurence, William L. 1959. *Men and Atoms*. New York: Simon and Schuster.

Leighton, Ralph. 1991. *Tuva or Bust! Richard Feynman's Last Journey*. New York: Norton.

Lentricchia, Frank. 1980. *After the New Criticism*. Chicago: University of Chicago.

Leplin, J., ed. 1984. *Scientific Realism*. Berkeley: University of California Press.

Lewis, Gilbert N. 1930. "The Symmetry of Time in Physics." In Landsberg 1982, 37.

Lifshitz, Eugene M. 1958. "Superfluidity." *Scientific American*, June, 30.

Lindsay, Robert Bruce. 1940. *General Physics for Students of Science*. New York: Wiley and Sons.

Lipset, Seymour Martin, and Ladd, Jr., Everett Carl. 1971. "Jewish Academics in the United States." *American Jewish Yearbook*, 89.

Lombroso, Cesare. 1891. *The Man of Genius*. London: Walter Scott.

Lopes, J. Leite. 1988. "Richard Feynman in Brazil: Recollections." Manuscript.

Lopes, J. Leite, and Feynman, Richard. 1952. "On the Pseudoscalar Meson Theory of the Deuteron." *Symposium on New Research Techniques in Physics*, 251.

Macfarlane, Gwyn. 1984. *Alexander Fleming: The Man and the Myth*. London: Hogarth Press.

Mach, Ernst. 1960. *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development*. Translated by Thomas J. McCormack. Lasalle, III.: Open Court.

Maddox, John. 1988. "The Death of Richard Feynman." *Nature* 331:653.

Mann, Thomas. 1927. *The Magic Mountain*. Translated by H. T. Lowe-Porter. New York: Modern Library.

Marshak, Robert E. 1970. "The Rochester Conferences." *Bulletin of the Atomic Scientists*, June.

Masters, Dexter, and Way, Katharine, eds. 1946. *One World or None: A Report to the Public on the Full Meaning of the Atomic Bomb*. New York: McGraw-Hill.

Maugham, W. Somerset. 1947. "Sanatorium." In *Creatures of Circumstance*. London: Heinemann.

Mead, Margaret. 1949. *Male and Female: A Study of the Sexes in a Changing World*. New York: Morrow.

Medawar, Peter Brian. 1969. *Induction and Intuition in Scientific Thought*. Philadelphia: American Philosophical Society.

Mehra, Jagdish, ed. 1973. *The Physicist's Conception of Nature*. Dordrecht: Reidel.

Mehra, Jagdish. 1988. "My Last Encounter with Richard Feynman." Talk at Department of Physics, Cornell University, 24 February.

Melsen, Andrew G. van. 1952. *From Atomos to Atom: The History of the Concept "Atom."* Translated by Henry J. Koren. Pittsburgh, Duquesne University Press.

Mendenhall, C. E.; Eve, A. S.; Keys, D. A.; and Sutton, R. M. 1950. *College Physics*. Boston: Heath.

Menge, Edward J. v. K. 1932. *Jobs for the College Graduate in Science*. New York: Bruce.

Mermin, N. David. 1985. "Is the Moon There When Nobody

Looks? Reality and the Quantum Theory." *Physics Today*, April, 38.

Merton, Robert K. 1961. "The Role of Genius in Scientific Advance." *New Scientist* 259: 306. In Hudson 1970, 70.

—. 1973. *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago: University of Chicago Press.

Metropolis, Nicholas. 1990. "The Los Alamos Experience, 1943–1954." In Nash 1990.

Metropolis, Nicholas, and Nelson, E. C. 1982. "Early Computing at Los Alamos." *Annals of the History of Computing* 4:348.

Michels, Walter C. 1948. "Women in Physics." *Physics Today*, December, 16.

Miller, Arthur I. 1984. *Imagery in Scientific Thought: Creating Twentieth-Century Physics*. Boston: Birkhäuser.

—. 1985. "Werner Heisenberg and the Beginning of Nuclear Physics." *Physics Today*, November, 60.

Millikan, Robert Andrews. 1947. *Electrons (+ and —) Protons, Photons, Neutrons, Mesotrons, and Cosmic Rays*. Chicago: University of Chicago Press.

Millikan, Robert Andrews; Roller, Duane; and Watson, Earnest Charles. 1937. *Mechanics, Molecular Physics, Heat, and Sound*. Boston: Ginn.

Mizener, Arthur. 1949. *The Far Side of Paradise*. Boston: Houghton Mifflin.

Morris, Richard. 1984. *Time's Arrows: Scientific Attitudes toward Time*. New York: Simon and Schuster.

Morrison, Philip. 1946. "If the Bomb Gets Out of Hand." In Masters and Way 1946.

—. 1985. Review of *Surely You're Joking, Mr. Feynman!* In *Scientific American*, May, 41.

[Morrison, Philip.] 1988. "Richard P. Feynman 1918–1988." *Scientific American*, June, 38.

Morse, Philip. 1977. *In at the Beginnings: A Physicist's Life*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Moss, Norman. 1987. *Klaus Fuchs*. London: Grafton.

Murray, Francis J. 1961. *Mathematical Machines*. New York: Columbia University Press.

Nash, Stephen G., ed. 1990. A *History of Scientific Computing.* New York: ACM.

New Yorker. 1988. "Richard Feynman." 14 March, 30.

Nisbet, Robert. 1980. *History of the Idea of Progress*. New York: Basic Books.

Noyes, H. P.; Hafner, E. M.; Yekutieli, C; and Raz, B. J., eds. *High Energy Nuclear Physics*. Proceedings of the Fifth Annual Rochester Conference, 31 January–2 February. New York: Interscience.

Nye, Mary Jo, ed. 1984. *The Question of the Atom*. Los Angeles: Tomash.

Obler, Loraine K., and Fein, Deborah, eds. 1988. *The Exceptional Brain: Neuropsychology of Talent and Special Abilities*. New York: Guilford Press.

Ochse, R. 1990. *Before the Gates of Excellence: The Determinants of Creative Genius*. Cambridge: Cambridge University Press.

Oppenheimer, J. Robert. 1945. Speech to the Association of Los Alamos Scientists, 2 November. In Smith and Weiner 1980, 315.

—. 1948. "Electron Theory." In Schwinger 1958.

Osgood, Charles G., ed. 1947. *The Modern Princeton*. Princeton: Princeton University Press.

Osgood, Charles G. 1951. *Lights in Nassau Hall*. Princeton: Princeton University Press.

Pais, Abraham. 1982. *"Subtle Is the Lord": The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press.

—. 1986. *Inward Bound*. Oxford: Oxford University Press.

—. 1991. *Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*. Oxford: Oxford University Press.

Park, David. 1988. *The How and the Why*. Princeton: Princeton University Press.

Peierls, Rudolf. 1985. *Bird of Passage*. Princeton: Princeton University Press.

Perutz, Max. 1989. *Is Science Necessary?* Oxford: Oxford University Press.

Pickering, Andrew. 1984. *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Polkinghorne, John C. 1980. *Models of High Energy Processes*. Cambridge: Cambridge University Press.

—. 1989. *Rochester Roundabout: The Story of High Energy Physics*. New York: W. H. Freeman.

—. 1990. "Chaos and Cosmos: A Theological Approach." Talk at Nobel Symposium, St. Peter, Minn.

Pollard, Ernest C. 1982. *Radiation: One Story of the MIT Radiation Laboratory*. Durham, N.C.: Woodbum Press.

Popper, Karl. 1958. *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson.

Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident. 1986. *Report of the Presidential Commission on the Space Shuttle Challenger Accident*. Washington, D.C.

Princeton University. 1946. *The Future of Nuclear Science*. Princeton University Bicentennial Conferences: Series I, Conference I. Princeton: Princeton University Press.

Putnam, Hilary. 1965. "A Philosopher Looks at Quantum

Mechanics." In Colodny 1965, 75.

Quine, W. V. 1969. *Ontological Relativity*. New York: Columbia University Press.

—. 1987. *Quiddities: An Intermittently Philosophical Dictionary*. Cambridge, Mass.: Belknap Press.

Rabi, Isidor Isaac. 1970. *Science: The Center of Culture*. New York: World.

Regis, Ed. 1987. *Who Got Einstein's Office? Eccentricity and Genius at the Institute for Advanced Study*. Reading, Mass.: Addison Wesley.

—. 1990. *Great Mambo Chicken and the Transhuman Condition*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Reichenbach, Hans. 1956. *The Direction of Time*. Berkeley: University of California Press.

Reid, Hiram Alvin. 1895. *History of Pasadena*. Pasadena: Pasadena History Company.

Reid, R. W. 1969. *Tongues of Conscience: Weapons Research and the Scientists' Dilemma*. New York: Walker and Company.

Reid, T. R. 1984. *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution*. New York: Simon and Schuster.

Reingold, Nathan, and Reingold, Ida H., eds. 1981. *Science in America: A Documentary History 1900–1919*. Chicago: University of Chicago Press.

Rhodes, Richard. 1987. *The Making of the Atomic Bomb*. New York: Simon and Schuster.

Rigden, John S. 1987. *Rabi: Scientist and Citizen*. New York: Basic Books.

Riordan, Michael. 1987. *The Hunting of the Quark*. New York: Simon and Schuster.

Root-Bernstein, Robert Scott. 1989. *Discovering: Inventing and Solving Problems at the Frontiers of Scientific Knowledge*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Sakharov, Andrei. 1990. *Memoirs*. Translated by Richard Lourie. New York: Knopf.

Salam, Abdus, and Strathdee, J. 1972. "The Path-Integral Quantization of Gravity." In *Aspects of Quantum Theory*. Edited by Abdus Salam and E. P. Wigner. Cambridge: Cambridge University Press.

Sanchez, George I. 1961. *Arithmetic in Maya*.

Scheid, Ann. 1986. *Pasadena: Crown of the Valley*. Northridge, Calif.: Windsor.

Schlossberg, David. 1988. *Tuberculosis*. Second edition. New York: Springer-Verlag.

Schrödinger, Erwin. 1967. *What Is Life?* Cambridge: Cambridge University Press.

Schucking, Engelbert L. 1990. “Views from a Distant Past.” In *General Relativity and Gravitation* 1989. Edited by Neil Ashby. Cambridge: Cambridge University Press.

Schwartz, Joseph. 1992. *The Creative Moment: How Science Made Itself Alien to Modern Culture*. New York: HarperCollins.

Schweber, Silvan S. 1983. “A Short History of Shelter Island I.” In Jackiw et al. 1983, 301.

—. 1986*a*. “Feynman and the Visualization of Space-Time Processes.” *Reviews of Modern Physics*, 58:449.

—. 1986*b*. “The Empiricist Temper Regnant: Theoretical Physics in the United States 1920–1950.” *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 17:1.

—. 1986*c*. “Shelter Island, Pocono, and Oldstone: The Emergence of American Quantum Electrodynamics after World War II.” *Osiris* 2:265.

—. 1989. “The Young Slater and the Development of Quantum Chemistry.” *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 20:339

—. Forthcoming. *QED: 1946–1950: An American Success Story*. Manuscript.

Schwinger, Julian. 1934. “On the Interaction of Several Electrons.” Typescript. Courtesy of Schwinger.

—, ed. 1958. *Selected Papers on Quantum Electrodynamics*. New York: Dover.

—. 1973. “A Report on Quantum Electrodynamics.” In Mehra 1973, 413.

—. 1983. “Renormalization Theory of Quantum Electrodynamics: An Individual View.” In Brown and Hoddeson 1983.

—. 1989. “A Path to Quantum Electrodynamics.” *Physics Today*, February, 42.

Segrè, Emilio. 1970. *Enrico Fermi: Physicist*. Chicago: University of Chicago.

—. 1980. *From X-Rays to Quarks: Modern Physicists and Their Discoveries*. Berkeley, Calif.: W. H. Freeman.

Sharpe, William. 1755. *A Dissertation Upon Genius*. Reprint, with introduction by William Bruce Johnson. Delmar, N.Y.: Scholars’ Facsimiles and Reprints, 1973.

Sheppard, R. Z. 1985. “The Wonderful Wizard of Quark.” *Time*, 7 January, 91.

Shryock, Richard Harrison. 1947. *The Development of Modern Medicine*. New York: Knopf.

Shuttle Criticality Review Hazard Analysis Audit Committee. 1988. *Post-Challenger Evaluation of Space Shuttle Risk Assessment and Management*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences Press.

Silberman, Charles E. 1985. *A Certain People: American Jews and Their Lives Today*. New York: Summit.

Simonton, Dean Keith. 1984. *Genius, Creativity, and Leadership: Historiometric Inquiries*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

—. 1989. *Scientific Genius*. Cambridge: Cambridge University Press.

Sitwell, Edith. 1943. *Street Songs*. London: Macmillan.

—. 1987. *Façade*. London: Duckworth.

Sklar, Lawrence. 1974. *Space, Time, and Spacetime*. Berkeley: University of California Press.

Slater, John C. 1955. *Modern Physics*. New York: McGraw-Hill.

—. 1963. *Quantum Theory of Molecules and Solids*. Vol. 1. New York: McGraw-Hill.

—. 1975. *Solid-State and Molecular Theory: A Scientific Biography*. New York: Wiley and Sons.

Slater, John C, and Frank, Nathaniel H. 1933. *Introduction to Theoretical Physics*. New York: McGraw-Hill.

Smith, Alice Kimball. 1965. A *Peril and a Hope: The Scientists' Movement in America 1945–47*. Chicago: University of Chicago Press.

Smith, Alice Kimball, and Weiner, Charles. 1980. *Robert Oppenheimer: Letters and Reflections*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Smith, Cyril Stanley. 1981. A *Search for Structure*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Smith, F. B. 1988. *The Retreat of Tuberculosis 1850–1950*. London: Croom Helm.

Smyth, H. D. 1945. *Atomic Energy for Military Purposes*. Princeton: Princeton University Press.

Smyth, H. D., and Wilson, Robert R. 1942. "The Isotron Method." Isotron Report no. 18, 20 August. SMY.

Snow, C. P. 1981. *The Physicists*. Boston: Little, Brown.

Solomon, Saul. 1952. *Tuberculosis*. New York: Coward-McCann.

Sopka, Katherine Russell. 1980. *Quantum Physics in America: 1920–1935*. New York: Arno Press.

Stabler, Howard P. 1967. "Teaching from Feynman." *Physics Today*, March, 47.

Starr, Kevin. 1985. *Inventing the Dream: California through the Progressive Era*. Oxford: Oxford University Press.

Steinberg, Stephen. 1971. "How Jewish Quotas Began." *Commentary*, September.

Stigler, George. 1985. "Sex and the Single Physicist." *Wall Street Journal*, 3 May, 21.

Storch, Sylvia. 1966. "A Nobel-Prize Winner Comes Home." *Highpoints* (Board of Education of the City of New York), June, 5.

Stückelberg, E. C. G. 1941. “Remarque à propos de la Création de Paires de Particules en Théorie de Relativité.” *Helvetica Physica Acta* 14:588.

Stuewer, Roger H. 1975. “G. N. Lewis on Detailed Balancing, the Symmetry of Time, and the Nature of Light.” *Historical Studies in the Physical Sciences* 6:469.

Stuewer, Roger H., ed. 1979. *Nuclear Physics in Retrospect: Proceedings of a Symposium on the 1930s*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Sudarshan, E. C. G. 1983. “Midcentury Adventures in Particle Physics.” In Brown et al. 1989, 40.

Sudarshan, E. C. G., and Marshak, Robert E. 1984. “Origin of the V-A Theory.” Talk at International Conference on Fifty Years of Weak Interactions, Racine, Wis., 29 May–1 June.

Sudarshan, E. C. G., and Ne’eman, Yuval, eds. 1973. *The Past Decade in Particle Theory*. London: Gordon and Breach.

Sudarshan, E. C. G.; Tinlot, J. H.; and Melissinos, A. C., eds. 1960. *Proceedings of the 1960 Annual International Conference on High Energy Physics at Rochester*. 25 August–1 September. New York: Interscience.

Taylor, Calvin, and Barron, Frank, eds. 1963. *Scientific Creativity: Its Recognition and Development*. New York: Wiley and Sons.

Taylor, J. C. 1976. *Gauge Theories of Weak Interactions*. Cambridge: Cambridge University Press.

Teich, Malvin C. 1986. “An Incessant Search for New Approaches.” *Physics Today*, September, 61.

Telegdi, Valentine L. 1972. “Crucial Experiments on Discrete Symmetries.” In Mehra 1973, 457.

Teller, Michael E. 1988. *The Tuberculosis Movement: A Public Health Campaign in the Progressive Era*. New York: Greenwood Press.

Tobey, Ronald C. 1971. *The American Ideology of National Science 1919–1930*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

Tomonaga, Shin’ichiro. 1966. “Development of Quantum Electrodynamics: Personal Recollections.” In *Nobel Lectures: Physics 1963–1970*. Amsterdam: Elsevier.

Torretti, Roberto. 1990. *Creative Understanding: Philosophical Reflections on Physics*. Chicago: University of Chicago Press.

Toulmin, Stephen. 1953. *The Philosophy of Science*. New York: Harper and Row.

Traweek, Sharon. 1988. *Beamtimes and Lifetimes: The World of High Energy Physicists*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Tricker, R. A. R. 1966. *The Contributions of Faraday and Maxwell to Electrical Science*. Oxford: Pergamon Press.

Trigg, George L. 1975. *Landmark Experiments in Twentieth Century Physics*. New York: Crane, Russak.

Ulam, Stanislaw M. 1976. *Adventures of a Mathematician*. New York: Scribner.

Underwood, E. Ashworth. 1937. *Manual of Tuberculosis for Nurses and Public Health Workers*. Second edition. Edinburgh: E. & S. Livingstone.

Von Neumann, John. 1955. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton: Princeton University Press.

Waksman, Selman A. 1964. *The Conquest of Tuberculosis*. Berkeley: University of California Press.

Watson, James D. 1968. *The Double Helix*. New York: Atheneum.

Weart, Spencer R. 1988. *Nuclear Fear: A History of Images*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Weaver, Jefferson Hane, ed. 1987. *The World of Physics*. 3 volumes. New York: Simon and Schuster.

Weinberg, Steven. 1977*a*. "The Search for Unity: Notes for a History of Quantum Field Theory." *Daedalus* 106:17.

—. 1977*b*. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books.

—. 1981. "Einstein and Spacetime: Then and Now." *Proceedings of the American Philosophical Society* 125:20.

—. 1987. "Towards the Final Laws of Physics." In Feynman and Weinberg 1987, 61.

Weisskopf, Victor F. 1947. "Foundations of Quantum Mechanics: Outline of Topics for Discussion." Typescript. OPP.

— 1980. "Growing Up with Field Theory: The Development of Quantum Electrodynamics." In Brown and Hoddeson 1983, 56.

—. 1991. *The Joy of Insight: Passions of a Physicist*. New York: Basic Books.

Welton, T. A. 1983. "Memories." Manuscript. CIT.

Weyl, Hermann. 1922. *Space — Time — Matter*. Translated by Henry L. Brose. New York: Dover.

—. 1949. *Philosophy of Mathematics and Natural Science*. Princeton: Princeton University Press.

—. 1952. *Symmetry*. Princeton: Princeton University Press.

Wheeler, John Archibald. 1948. "Conference on Physics: Pocono Manor, Pennsylvania, 30 March–1 April, 1948." Mimeographed notes.

—. 1979*a*. "Some Men and Moments in the History of Nuclear Physics." In Stuewer 1979, 217.

—. 1979*b*. "Beyond the Black Hole." In Woolf 1980, 341.

—. 1985. "Not Consciousness, but the Distinction between the Probe and the Probed, as Central to the Elemental Quantum Act of Observation." Lecture at the annual meeting of the American Association for the Advancement of Science, 8 January.

—. 1989. "The Young Feynman." *Physics Today*, February, 24.

Wheeler, John Archibald, and Ruffini, Remo. 1971. “Introducing the Black Hole.” *Physics Today*, 24.

Wheeler, John Archibald, and Wigner, Eugene P. 1942. Report of the Readers of Richard P. Feynman’s Thesis on “The Principle of Least Action in Quantum Mechanics.” Typescript, PUL.

Wheeler, John Archibald, and Zurek, Wojciech Hibert. 1983. *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton University Press.

White, D. Hywel; Sullivan, Daniel; and Barboni, Edward J. 1979. “The Interdependence of Theory and Experiment in Revolutionary Science: The Case of Parity Violation.” *Social Studies of Science* 9:303.

Whitrow, G. J. 1980. *The Natural Philosophy of Time*. Oxford: Clarendon Press.

Wiener, Norbert. 1956. *I Am a Mathematician: The Later Life of a Prodigy*. Garden City, N. Y.: Doubleday.

Wigner, Eugene P., ed. 1947. *Physical Science and Human Values*. Princeton Bicentennial Conference on the Future of Nuclear Science. Princeton: Princeton University Press.

Williams, L. Pearce. 1966. *The Origins of Field Theory*. New York: Random House.

Williams, Michael R. 1985. *A History of Computing Technology*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.

Williams, Robert Chadwell. 1987. *Klaus Fuchs, Atom Spy*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Wilson, Jane, ed. 1975. *All in Our Time: The Reminiscences of Twelve Nuclear Pioneers*. Chicago: Educational Foundation for Nuclear Sciences.

Wilson, Robert R. 1942. “Isotope Separator: General Description.” Isotron Report no. 1. SMY.

—. 1958. Review of *Brighter Than a Thousand Suns.* In *Scientific American,* December, 145.

—. 1972. “My Fight Against Team Research.” In Holton 1972, 468.

—. 1974. “A Recruit for Los Alamos.” In J. Wilson 1975, 142.

Woolf, Harry, ed. 1980. *Some Strangeness in the Proportion: A Centennial Symposium to Celebrate the Achievements of Albert Einstein*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Wright, Kenneth W.; Monroe, James; and Beck, Frederick. 1990. “A History of the Ray Brook State Tuberculosis Hospital.” *New York State Journal of Medicine* 90, 406.

Yang, Chen Ning. 1957. “The Law of Parity Conservation and Other Symmetry Laws in Physics.” Nobel lecture, 11 December 1957. In *Nobel Lectures: Physics*. Amsterdam: Elsevier, 1964.

—. 1962. *Elementary Particles: A Short History of Some Discoveries*

in Atomic Physics. Princeton: Princeton University Press.

—. 1983. "Particle Physics in the Early 1950s." In Brown et al. 1989, 40.

Yang, Chen Ning; Cole, J. A.; Good, M.; Hwa, R.; and Lee-Franzini, J., eds. 1969. *High Energy Collisions: Third International Conference*. London: Gordon and Breach.

Yukawa, Hideki. 1973. *Creativity and Intuition: A Physicist Looks East and West*. Translated by John Bester. Tokyo: Kodansha.

Zeman, Jin, ed. 1971. *Time in Science and Philosophy*. Amsterdam: Elsevier.

Ziman, John. 1978. *Reliable Knowledge: An Exploration of the Grounds for Belief in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

—. 1992. "Unknotting Epistemology." Nature 355:408.

Zuckerman, Harriet. 1977. *Scientific Elite: Nobel Laureates in the United States*. New York: The Free Press.

Zurek, Wojciech Hubert; van der Merwe, Alwyn; and Miller, Warner Allen, eds. 1988. *Between Quantum and Cosmos: Studies and Essays in Honor of John Archibald Wheeler*. Princeton: Princeton University Press.

Zweig, George. 1981. "Origins of the Quark Model." In *Baryon '80: Proceedings of the Fourth International Conference on Baryon Resonances*. Toronto: University of Toronto Press.

Источники иллюстраций

Схемы и рисунки

Илл. 1: the American Institute of Physics. Илл. 2: Robin Brickman. Илл. 3: Gardner 1989. Илл. 4: Robin Brickman. Илл. 5: Wheeler and Feynman 1945. Илл. 6: Archives, California Institute of Technology. Илл. 7: Victor Weisskopf and E. Wigner, “Berechnung der natürlichen Linienbreite auf Grund der Diracschen Lichttheorie,” *Zeitschrift für Physik* 63 (1930). Илл. 8: Robin Brickman. Илл. 9: Robin Brickman. Илл. 10: Dyson 1949a. Илл. 11: Stückelberg 1941. Илл. 12: Feynman 1949b. Илл. 13: Feynman 1949b. Илл. 14: Cvitanović 1983. Илл. 15: Feynman 1985a.

Фотографии

Фото 1: Joan Feynman. Фото 2: Joan Feynman. Фото 3: Michelle Feynman. Фото 4: Michelle Feynman. Фото 5: Los Alamos Scientific Library, AIP Niels Bohr Library. Фото 6: Los Alamos Scientific Library, AIP Niels Bohr Library. Фото 7: S. A. Goudsmit, AIP Niels Bohr Library. Фото 8: AIP Niels Bohr Library. Фото 9: AIP Niels Bohr Library, Marshak Collection. Фото 10: AIP Niels Bohr Library, Physics Today Collection. Фото 11: Richard Hartt Photography, Caltech. Фото 12: AIP Niels Bohr Library. Фото 13: AIP Niels Bohr Library, Physics Today Collection. Фото 14: Joe Munroe, Caltech. Фото 15: Archives, California Institute of Technology. Фото 16: UPI/Bettmann. Фото 17: Gweneth Feynman. Фото 18–19: Michelle Feynman. Фото 20: Michelle Feynman. Фото 21: Consulate General of Japan, N. Y., AIP Niels Bohr Library. Фото 22: Michelle Feynman. Фото 23: Robert Walker, Michelle Feynman. Фото 24–25: Caltech. Фото 26: UPI/Bettmann.

Выражаю искреннюю благодарность BBC (British Broadcasting Corporation) за разрешение использовать ранее выходившие материалы: фрагмент из «Забавно предположить» (Fun to Imagine), интервью Ричарда Фейнмана Кристоферу Сайксу, показанное BBC в 1983 году.

МИФ Научпоп

Весь научпоп на одной странице: mif.to/science

Узнавай первым о новых книгах, скидках и подарках из нашей рассылки mif.to/sci-letter

#mifnauka

#mifnauka

#mifnauka

#mifnauka

Над книгой работали

Руководитель редакции *Артем Степанов*
Шеф-редактор направления «Переводная литература» *Ренат Шагабутдинов*
Ответственный редактор *Наталья Довнар*
Литературный редактор *Ирина Бережная*
Арт-директор *Алексей Богомолов*
Дизайн обложки *Оксана Зморович*
Верстка *Екатерина Матусовская*
Корректоры *Олег Пономарев, Мария Кантурова, Вероника Ганчурина*

ООО «Манн, Иванов и Фербер»
mann-ivanov-ferber.ru
Электронная версия книги подготовлена компанией Webkniga.ru, 2018

notes

Примечания

1

Альбукерке — город в центральной части штата Нью-Мексико. В нем расположен Научно-исследовательский ядерный центр, в котором разрабатывалось ядерное оружие. *Здесь и далее, если не обозначено иначе, примечания редактора.*

2

Лос-Аламос — город в центральной части штата Нью-Мексико, в Скалистых горах. Построен на базе Лос-Аламосской национальной лаборатории Комиссией по атомной энергетике в 1943 году. Место создания первой атомной бомбы. В 1943–1957 годах закрытый город.

3

Оппенгеймер был руководителем так называемого Манхэттенского проекта по разработке атомной бомбы. Существует легенда, согласно которой толчком к разработке бомбы послужило письмо, написанное Лео Сцилардом и подписанное самим Эйнштейном. *Прим. науч. ред.*

4

Настоящей революцией в квантовой физике стало изобретение полупроводникового транзистора (Нобелевская премия 1956 года). Процессоры современных смартфонов вмещают миллиарды транзисторов. *Прим. науч. ред.*

5

Так описана проблема перенормировки в квантовой электродинамике (КЭД) — проблема, которую Фейнман с успехом решил. *Прим. науч. ред.*

6

Вернер Карл Гейзенберг (1901–1976) — немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике (1932).

7

До того как Бор сформулировал свои знаменитые постулаты о стационарных орбитах электрона, подобное вращение означало бы, что электроны со временем потеряют энергию и упадут на ядро. Чего, конечно же, не происходило. *Прим. науч. ред.*

8

Поль Дирак (1902–1984) — один из создателей квантовой механики. Лауреат Нобелевской премии по физике 1933 года (совместно с Эрвином Шрёдингером).

9

Уравнение Дирака предсказывало существование электрона с положительным зарядом (известного теперь как позитрон), чего экспериментально тогда еще не наблюдали. Позже Дайсон и Фейнман предположат, что позитрон — это движущийся обратно во времени электрон. Но об этом — далее в книге. *Прим. науч. ред.*

10

Принцип запрета (принцип Паули) — один из фундаментальных принципов квантовой механики, согласно которому два и более тождественных фермиона (частицы с полуцелым спином) не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии.

11

Соотношение неопределенностей Гейзенберга подразумевает, что невозможно одновременно определить и местоположение, и импульс частицы. *Прим. науч. ред.*

12

Граучо Маркс — американский актер-комик. *Прим. перев.*

13

Арете — термин древнегреческой философии, означающий «доблесть», «совершенство», «превосходство». *Прим. перев.*

Галилея и Коперника. *Прим. науч. ред.*

15

Фейнман Р. Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М.: КоЛибри, 1985.

Фейнман Р. Какое тебе дело до того, что думают другие? М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2001.

17

Мюррей Гелл-Манн (род. 1929 г.) — американский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1969 год «за открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий».

Фейнман Р. Теория фундаментальных процессов. М.: Наука, 1978.

19

Фейнман Р. Квантовая электродинамика. Новокузнецк: Новокузнецкий физико-математический институт, 1998.

Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 1, в 9 т. М.: Мир, 1965.

Фейнман Р. Характер физических законов. М.: АСТ, Астрель, Neoclassic, 2011.

Фейнман Р. КЭД — странная теория света и вещества. М.: Астрель, Полиграфиздат, 2012.

23

Гертруда Стайн (1874–1946) — американская писательница, теоретик литературы.

24

Теории Великого объединения — в физике элементарных частиц группа теоретических моделей, описывающих единым образом сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия. Предполагается, что при чрезвычайно высоких энергиях (выше 1014 ГэВ) эти взаимодействия объединяются.

25

Детские радиопередачи 1930–40-х годов XX века. *Прим. перев.*

Экспериментально электромагнитные волны открыл немецкий ученый Генрих Герц. *Прим. науч. ред.*

27

Слово, сходное по звучанию с английским roach — таракан. *Прим. перев.*

28

Местечко — еврейское поселение.

29

Энциклопедия Британника (Encyclopaedia Britannica) — старейшая англоязычная универсальная энциклопедия.

30

Платоново тело, или правильный многогранник — выпуклый многогранник, состоящий из одинаковых правильных многоугольников и обладающий пространственной симметрией (куб, додекаэдр, икосаэдр, октаэдр, тетраэдр).

Здесь i — мнимая единица (корень из –1); согласно формуле Эйлера, экспонента в степени iπ дает cosπ, который равен «–1». *Прим. науч. ред.*

32

Самым первым атомистом считается древний философ Демокрит, который и ввел понятие атом — «неделимый» — как мельчайшую частицу материи. *Прим. науч. ред.*

33

Флогистон — термин, предложенный в 1667 году Иоганном Бехером и в 1703 году Георгом Шталем для объяснения процессов горения. Флогистон представляли как невесомый флюид, улетучивавшийся из вещества при сжигании.

34

Теплород — термин, введенный в 1783 году Лавуазье; невесомая материя, присутствующая в каждом теле и являющаяся причиной тепловых явлений.

35

Даниил Бернулли (1700–1782) — швейцарский физик-универсал, механик и математик, один из создателей кинетической теории газов, гидродинамики и математической физики.

36

Антуан Лоран Лавуазье (1743–1794) — французский естествоиспытатель, основатель современной химии.

37

Речь идет о противостоянии копенгагенской (вероятностной) интерпретации волновой функции, сторонником которой был Бор, и теории о скрытых переменных, которую отстаивал Эйнштейн. Время показало, что Эйнштейн был неправ. *Прим. науч. ред.*

38

Виллем де Ситтер (1872–1934) — нидерландский астроном. Создал одну из первых релятивистских космологических моделей, названную его именем (модель де Ситтера).

39

Яша Хейфец (1901–1987) — американский скрипач еврейского происхождения. Считается одним из величайших скрипачей XX века.

40

Джордж Херман «Бейб» Рут младший (1895–1948) — профессиональный американский бейсболист, выступавший 22 сезона в Главной лиге бейсбола с 1914 по 1935 год.

41

Ежедневная газета, выпускаемая в Мэдисоне, одно из крупнейших периодических изданий Висконсина. *Прим. перев.*

42

«Физический журнал» — немецкоязычный рецензируемый научный журнал, издававшийся с 1899 по 1945 год издательством S. Hirzel Verlag.

43

Владимир Александрович Фок (1898–1974) — советский физик. Академик АН СССР. Ввел и изучил фундаментальные понятия квантовой механики и квантовой теории поля: пространство Фока, метод функционалов Фока и пр.

44

Борис Яковлевич Подольский (1896–1966) — американский физик-теоретик русского происхождения, соавтор парадокса Эйнштейна — Подольского — Розена.

45

Представление Гейзенберга — матричный способ описания квантовомеханических явлений.

46

Ханс Бете (1906, Германия — 2005) — американский астрофизик, лауреат Нобелевской премии по физике (1967).

47

Юджин Вигнер (1902–1995) — американский физик и математик венгерского происхождения, лауреат Нобелевской премии по физике (1963).

Фейнман, произнося фамилию ученого, основывался только на ее написании Bernoulli и никогда не слышал, как она звучит. В английском возможны разночтения буквенных сочетаний в иностранных фамилиях. *Прим. перев.*

49

ROTC — Reserve Officers' Training Corps — служба вневойсковой подготовки офицеров запаса.

50

Отсылка к строчке из «Гамлета»: «…и в гибели воробья есть особый промысел». *Прим. перев.*

Действие рассчитывается как разность между кинетической и потенциальной энергией объекта. Кстати, оператор наименьшего действия называется лагранжиан. *Прим. науч. ред.*

52

Принцип наименьшего времени Ферма в геометрической оптике — постулат, предписывающий лучу света двигаться из начальной точки в конечную точку по пути, минимизирующему время движения (или, что то же самое, минимизирующему оптическую длину пути).

Милл Д. С. О гражданской свободе. М.: Либроком, 2012.

54

Томас Гексли (или Хаксли (1825–1895)) — английский зоолог, популяризатор науки и защитник эволюционной теории Чарлза Дарвина (за свои яркие полемические выступления он получил прозвище Бульдог Дарвина).

55

Уильям Гарвей (1578–1657) — английский медик, основоположник физиологии и эмбриологии.

56

Герман Минковский (1864–1909) — немецкий математик, разработавший геометрическую теорию чисел и геометрическую четырехмерную модель теории относительности.

57

Отсылка к книге Фритьофа Капры «Дао физики» о связи восточного мистицизма с физикой. *Прим. науч. ред.*

Размерность постоянной Планка — Дж·с. *Прим. науч. ред.*

С точки зрения классической физики энергия выбиваемых светом электронов должна была зависеть от интенсивности света: чем ярче свет, тем больше энергия электронов. Однако эксперимент показывал, что от интенсивности света зависело *количество* выбиваемых электронов, в то время как их энергия определялась только *частотой* (длиной волны) падающего света. Этот факт и привел к гипотезе о дискретной природе света.

Постулаты Бора можно сформулировать так:

1. Электроны вращаются по стационарным орбитам, не излучая и не поглощая энергию.

2. При переходе электрона с верхних энергетических уровней на нижние энергия излучается, а при переходе с нижних на верхние — поглощается.

3. Энергия излучается и поглощается в виде дискретных порций — квантов.

Суть квантования заключается в том, что электрон может находиться только на *определенных* орбитах, энергетических уровнях и т. д., поэтому вопрос о нахождении электрона «между» орбитами или уровнями в принципе бессмысленен. *Прим. науч. ред.*

61

Моралите — особый вид драматического представления в Средние века и в эпоху Возрождения, в котором действующими лицами являются не люди, а отвлеченные понятия.

62

Преобразования Лоренца легли в основу теории относительности Эйнштейна. При движении объекта на околосветовой скорости его линейные размеры уменьшаются, время замедляется, а масса увеличивается.

Обозначим через X координату частицы, а через P — ее импульс. Гейзенберг показал, что произведение XP не равно PX, а именно XP-PX = iħ, где i есть мнимая единица, а ħ — приведенная постоянная Планка. Поскольку нарушалось коммутативное свойство умножения, говорят, что координата и импульс частицы не *коммутируют*, то есть результат измерений зависит от очередности: если сначала измерим импульс, а потом координату, то результат будет отличаться от случая, если бы измерения проводились в обратном порядке. *Прим. науч. ред.*

64

Оскар Клейн (1894–1977) — шведский физик. Наиболее известен как один из независимых авторов уравнения Клейна — Гордона — Фока (1927 г., получено ранее, но не опубликовано Э. Шрёдингером).

65

Вальтер Гордон (1893–1939) — немецкий физик-теоретик.

66

Дифференциальный анализатор — механический аналоговый компьютер, спроектированный для решения дифференциальных уравнений интегрированием и использующий шестерни и диски для выполнения интегрирования. Изобретен в МТИ в конце 1920-х — начале 1930-х годов под руководством В. Буша.

67

Baedekers — Бедекер — название путеводителей по разным странам, историческим местам.

Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.

69

Расщепление ядра открыли Отто Ган и Фриц Штрассман в 1938 году. *Прим. науч. ред.*

70

Ханс Альбрехт Бете (1906–2005) — американский астрофизик, лауреат Нобелевской премии по физике (1967).

71

Рандомизация — процесс случайного распределения.

Рэлеевское рассеяние, объясняющее цвет неба, обратно пропорционально длине волны в четвертой степени, то есть $1/\lambda^4$, соответственно, синий свет, имеющий меньшую длину волны в видимом спектре, рассеивается сильнее. *Прим. науч. ред.*

73

Калькулятор Маршана (1918) — самый сложный механический калькулятор.

Описываемый эффект известен как интерференция тонких пленок; именно благодаря ему появляются радужные разводы в луже пролитого масла. *Прим. науч. ред.*

75

Раймонд Тайер Бирдж (1887–1980) — американский физик, заведующий кафедрой физики Калифорнийского университета в Беркли с 1933 по 1955 год.

Нобелевская премия по физике 1956 года за изобретение биполярного транзистора. *Прим. науч. ред.*

В этом методе используется дифракция Вульфа — Брэггов, когда вещество облучается рентгеновскими лучами под разными углами. Найдя угол с максимальной интенсивностью дифрагировавших лучей, можно легко определить расстояние между узлами решетки. *Прим. науч. ред.*

140 нейтронов содержит изотоп урана-232. Всего существует несколько десятков изотопов урана. *Прим. науч. ред.*

Для распада изотопа урана-238 (наиболее распространенного) необходимо облучать его «быстрыми» (высокоэнергетичными) нейтронами, следовательно, замедляя нейтроны, можно контролировать ход реакции расщепления ядра. Для замедления нейтронов в ядерных реакторах используются, как правило, графитовые стержни, а раньше применялась тяжелая вода (оксид дейтерия). *Прим. науч. ред.*

Изотоп — разновидность химического элемента, отличающаяся от исходного элемента количеством нейтронов в ядре (то есть массой), но имеющая то же количество протонов. Поскольку физико-химические свойства элемента определяются количеством протонов, изотоп ведет себя в целом так же, как и исходный элемент. *Прим. науч. ред.*

81

Абрахам Пайс (1918–2000) — американский физик-теоретик и историк науки голландского происхождения. Автор ряда работ по истории физики, в том числе популярных биографий Эйнштейна, Бора и Оппенгеймера.

82

Солнечный свет достигает Земли примерно за восемь минут. *Прим. науч. ред.*

83

Зубчатое колесо (шестерня), расположенное между двумя другими для передачи крутящего момента без изменения направления вращения к коэффициенту скорости. *Прим. науч. ред.*

Синусоидальное колебание есть проекция траектории движения фиксированной точки на крутящемся колесе. *Прим. науч. ред.*

85

Широко известная гипотеза Пуанкаре, доказанная Г. Перельманом, рассматривается именно в топологии, которая нашла применение в теории струн. *Прим. науч. ред.*

Flex (*англ.*) — изгиб.

«Джелло» — фирменное название концентрата желе.

Кинематографисты говорят о том, что *время* можно повернуть вспять и посмотреть, что получится. В вышеописанном спринклере делают *обратный процесс*, а не обращают исходный процесс во времени. Если продолжить аналогию с кинопленкой, то в этом реверсе (во времени) струя должна была бы *собираться, фокусироваться и влетать в форсунку в конкретном направлении и с конкретной точкой приложения*. Тогда форсунка, очевидно, вращалась бы в противоположном направлении, как и должно быть при перемотке пленки назад. Однако *обратный процесс* (то есть всасывание воды) протекает по-другому физически, а именно так, как Глик сам описал выше, то есть в обратном процессе (всасывании) нет выделенного направления, и, следовательно, спринклер не вращается. Как видим, Глик в этом абзаце приравнивает *обратный процесс* к *обратному протеканию времени*, что, в общем-то, не одно и то же. *Прим. науч. ред.*

89

Стрелы времени — метафорическое название эмпирических индикаторов направления времени.

Устройство, выполняющее очень простое действие чрезвычайно сложным образом, как правило, по принципу домино. Свое название подобные машины получили от имени американского карикатуриста и изобретателя Руба Голдберга, который использовал их изображения в своих работах. Иногда это выражение используется для ироничного обозначения любой излишне сложной системы. *Прим. перев.*

Паули за это называли совестью физики. *Прим. науч. ред.*

92

Адрес, по которому в Принстоне жил Альберт Эйнштейн. *Прим. перев.*

93

Герман Бонди (1919–2005) — английский астрофизик. Основные работы посвящены космологии, общей теории относительности, гравитационным волнам.

Гамильтониан — оператор полной энергии системы, то есть фактически сумма кинетической и потенциальной энергии. *Прим. науч. ред.*

95

«Перенос на бесконечно малый временной интервал — это есть, по сути, производная по времени. В уравнении Шрёдингера фигурирует производная волновой функции по времени. *Прим. науч. ред.*

Практический смысл имеет квадрат амплитуды вероятности, пропорциональный самой вероятности нахождения частицы в том или ином месте (необходимо еще учесть размер рассматриваемой области пространства). Подход, основанный на амплитудах (волнах) вероятности, позволяет объяснить, например, почему две частицы не могут одновременно находиться в каком-то конкретном месте: в терминах амплитуд это означает, что их «волны» вероятности просто интерферируют деструктивно, то есть гасят друг друга. *Прим. науч. ред.*

97

Идея, которая натолкнула Фейнмана на исследование вероятностей путей, довольно проста. Из опыта Юнга (по дифракции электрона) известно, что электрон может одновременно пролетать через обе щели экрана. Фейнман задумался, что будет, если число щелей увеличить, скажем, до трех. Ответ: электрон будет пролетать через все три щели. Если щелей будет четыре — то через все четыре, и т. д. Наконец, что будет, если число щелей станет бесконечным (то есть экран исчезнет)? Тогда определять путь электрона нужно с помощью метода, предложенного Фейнманом. *Прим. науч. ред.*

98

Джонас Солк (1914–1995) — американский вирусолог. Известен как один из разработчиков первых вакцин против полиомиелита.

99

Лео Силард (1898–1964) — американский физик венгерско-еврейского происхождения. Вместе с Энрико Ферми определил критическую массу 235U и принял участие в создании первого ядерного реактора.

100

Эдвард Теллер (1908–2003) — американский физик-теоретик венгерского происхождения, широко известный как отец водородной бомбы.

101

Американский завод по производству боеприпасов, расположенный в Филадельфии в штате Пенсильвания. *Прим. перев.*

102

Фрэнсис Саймон, или Франц Ойген Симон (1893–1956) — немецкий и британский физик-экспериментатор. Научные труды посвящены в основном физике низких температур и высоких давлений, ядерной физике, магнетизму.

103

Гарольд Клейтон Юри (1893–1981) — американский физик и физикохимик. Пионер в области исследования изотопов, за открытие дейтерия был удостоен Нобелевской премии по химии в 1934 году.

104

«Доктор Стрейнджлав, или Как я перестал бояться и полюбил бомбу» — черная комедия Стэнли Кубрика, снятая в 1964 году по мотивам триллера Питера Джорджа «Красная тревога». Картина рассказывает об одержимом американском генерале, который на почве антикоммунистической паранойи, в обход высшего командования США, начинает ядерную атаку на СССР. *Прим. перев.*

105

Взаимное гарантированное уничтожение — доктрина ядерной войны, американская концепция.

Величина, определяющая вероятность возникновения ядерной реакции. Может быть описана как область пространства, в которой гарантированно произойдет ядерная реакция. *Прим. науч. ред.*

107

Арнольд Иоганнес Вильгельм Зоммерфельд (1868–1951) — немецкий физик-теоретик и математик.

Имплозия — взрыв, направленный внутрь, в то время как эксплозия — обычный взрыв. *Прим. науч. ред.*

109

Принцип семейного сходства выдвинут австрийским философом и логиком Людвигом Витгенштейном (1889–1951) и заключается в признании особого вида обобщения группы предметов, сходных в одном, но не сходных в другом отношении, что не позволяет обобщать их через род и видовое отличие согласно канонам логики.

110

Принцип неопределенности Гейзенберга представляет собой, по сути, нарушение коммутативного закона умножения: операторы координаты и импульса не коммутируют друг с другом. *Прим. науч. ред.*

111

Препарат, используемый для лечения изжоги, нарушений пищеварения, расстройства желудка, тошноты. *Прим. перев.*

112

Антимилитаристский роман писателя Джозефа Хеллера.

Лоуренс Д. Любовник леди Чаттерлей. М.: Эксмо, 2007.

114

Английская буква G обозначала слово gadget (устройство). Так называли первую атомную бомбу. *Прим. перев.*

115

Суть принципа в том, что в один и тот же момент времени выполняются разные этапы разных операций, соответственно, одновременно задействованы разные элементы вычислительного устройства, что позволяет повысить производительность. *Прим. науч. ред.*

The Office of Naval Research, ONR, морской аналог *DARPA*, существует и по сей день. *Прим. науч. ред.*

Принстонская театральная труппа. *Прим. науч. ред.*

118

Томас Маколей — викторианский государственный деятель, политик, историк, поэт; прославился своим чеканным слогом.

119

Еврейская молитва, восхваляющая Бога.

120

Город в штате Нью-Йорк.

Течет она так потому, что по мере падения вниз капли воды приобретают всё бо́льшую скорость (из-за силы тяжести); поскольку количество воды в струе не меняется, ускорение капель компенсируется утоньшением струи. *Прим. науч. ред.*

Концепция, например, *цвета* применяется к кваркам — субатомным частицам, из которых состоят адроны (протоны и нейтроны). Протоны, например, состоят из двух верхних (с электрическим зарядом по +2/3) и одного нижнего (с электрическим зарядом –1/3) кварков — итого заряд протона 2/3 + 2/3–1/3 = 1. Поскольку в протоне есть два одинаковых кварка, они, согласно принципу Паули (то есть будучи фермионами), должны иметь какую-то уникальную квантовую характеристику. Так придумали *цвет* частицы: считается, что все три эти кварка обладают цветом (красным, зеленым и синим), что вместе дает белый цвет, поэтому протон имеет нейтральный «цветовой» заряд. *Прим. науч. ред.*

123

В зависимости от величины спина частицы делятся на фермионы и бозоны: фермионы обладают дробным спином и подчиняются принципу Паули, а бозоны обладают целым спином и этому принципу не подчиняются. Примером бозона является, например, фотон. *Прим. науч. ред.*

124

Всем известно, что число π имеет бесконечное число знаков после запятой. Однако если взять кольцо известного радиуса и разрезать его, то можно посчитать π вполне «точно», с конечным числом знаков. Однако такой подход с электроном, очевидно, не сработает. *Прим. науч. ред.*

Именно он разработает концепцию кварков. *Прим. науч. ред.*

Тип электромагнитной волны, поддерживаемый резонатором. *Прим. науч. ред.*

127

Функционал влияния в квантовой механике — аналог классических внешних сил, действующих на частицу. *Прим. науч. ред.*

Тем не менее в целях визуализации излучаемый фотон часто изображают как волну между уровнями, распространяющуюся горизонтально. *Прим. науч. ред.*

129

Комплексные числа имеют вид $z = a + ib$, где a — вещественная часть, b — мнимая, i — корень из –1. *Прим. науч. ред.*

Изначально Дирак предполагал существование отрицательных уровней энергии вакуума («море Дирака»). В таком случае электрон мог перейти из отрицательных энергий в область положительных энергий (и стать *наблюдаемым* электроном), в то время как в области отрицательных энергий оставалась бы «дырка». Сначала Дирак, не решаясь предположить существование антиэлектрона, решил, что этой дыркой будет являться протон, однако коллеги сразу же указали на то, что протон во много раз массивнее электрона, хотя «дырка», очевидно, должна обладать той же массой, что и высвободившийся электрон. Кроме того, согласно концепции «моря Дирака», число частиц и античастиц должно совпадать, но в таком случае материи не существовало бы, ведь материя и антиматерия попросту взаимно уничтожились бы (аннигилировали), излучив фотоны: в этом контексте наш мир существует лишь потому, что материи *немного больше*, чем антиматерии. Это *нарушение симметрии* позже объяснил А. Д. Сахаров. *Прим. науч. ред.*

131

Алексис де Токвиль — французский исследователь, политический деятель первой половины XIX века, совершивший путешествие по США и написавший книгу «Демократия в Америке», которая считается лучшим историко-политическим трактатом о Соединенных Штатах.

Эти частицы теперь известны как глюоны — от слова *glue* (клей). *Прим. науч. ред.*

133

Драма Томаса Элиота, в основе которой лежат подлинные события — убийство архиепископа Кентерберийского Томаса Бекета в 1170 году.

134

Имеются в виду знаменитые слова Марка Антония: «Я Цезаря не славить — хоронить / Пришел сюда» (Шекспир, «Юлий Цезарь»).

135

Научный конгресс в Брюсселе в 1948 году.

Не буду оспаривать; нет возражений *(лат.)*.

137

Роберт Оппенгеймер.

138

Фотон называется виртуальным, потому что его невозможно наблюдать и для него неприменим закон сохранения энергии. *Прим. науч. ред.*

139

Бразильская певица, запомнившаяся благодаря своим шляпам из фруктов.

140

Стадион в Пасадене.

141

Ядро атома формируется адронами: нейтронами и протонами. В общем случае адрон — частица, подверженная сильному взаимодействию. Адроны делятся на два класса: барионы («потяжелее») и мезоны («полегче»). Таким образом, мезоны тоже являются адронами. *Прим. науч. ред.*

142

Устройство для наблюдения за радиацией и ионизирующим излучением. *Прим. науч. ред.*

143

В названии главы использована цитата из поэмы Байрона «Дон Жуан»: «Увы, любовь! Для женщин искони нет ничего прекрасней и опасней» (перев. Т. Гнедич).

144

Перевод Татьяны Гнедич.

145

Женский гуманитарный колледж в Пенсильвании.

146

Этот закон 1952 года предусматривал изоляцию и депортацию граждан с «неприемлемыми политическими взглядами», особенно из Восточной и Южной Европы.

147

Фононы можно считать волнами плотности вещества. Помимо акустических, существуют еще и оптические фононы. *Прим. науч. ред.*

Одно из объяснений сверхпроводимости заключается в формировании так называемых куперовских пар — пар из электронов, обладающих противоположным спином. Такие пары представляют собой бозоны, то есть на них не действует принцип Паули, а значит, сколь угодно таких пар могут находиться в одном и том же квантовом состоянии, что позволяет им двигаться без сопротивления. *Прим. науч. ред*.

149

Круг можно повернуть вокруг оси, перпендикулярной его центру, на любой угол и сохранить его симметрию. Однако квадрат, очевидно, сохранит вращательную симметрию только при повороте на угол, кратный 90 градусам. *Прим. науч. ред.*

150

Известный мюзикл Ричарда Роджерса 1949 года об американской медсестре и французском плантаторе; любовная история разворачивается на фоне событий Второй мировой войны на одном из островов Тихого океана.

151

Гелл-Манн был одним из первых физиков, кто использовал теорию групп — в частности, группы симметрии, с помощью которых и предсказал новые частицы. *Прим. науч. ред.*

152

Поля Бродмана — отделы коры больших полушарий головного мозга, различающиеся по строению на клеточном уровне. Названы по имени немецкого невролога Корбиниана Бродмана, составившего карту коры в 1909 году.

153

Эйнштейн считал именно воображение важнейшим инструментом ученого. К своим идеям о теории относительности он пришел, представив, что было бы, если бы он двигался со скоростью света, как фотон. *Прим. науч. ред.*

154

Эдисон проучился в школе всего три месяца, после чего родителей попросили забрать ребенка из-за неуспеваемости. Он получил домашнее образование.

155

Речь идет о голландце Виме Хофе, известном как «Ледяной человек», который в 2006 году покорил Монблан в одних шортах. *Прим. ред.*

156

Как указание на многочисленность элементарных частиц и наличие в этом «зверинце» весьма экзотических экземпляров.

157

Речь о советском спутнике.

158

Западная свадебная традиция — привязывать пустые жестяные банки к машине молодоженов, чтобы при отъезде они гремели, волочась по земле. Происходит от древней традиции отпугивать злых духов.

159

Explanandum — феномен, нуждающийся в объяснении; *explanans* — фраза, объясняющая этот феномен *(лат.)*.

Аксион — гипотетическая нейтральная частица, альтернативное название которой — хигглет. *Прим. науч. ред.*

161

Злодей из комиксов о Тинтине.

162

Два популярных актера эпохи золотого Голливуда.

163

По аналогии с восьмеричным путем в буддизме.

С 2008 года — Национальная ускорительная лаборатория, SLAC.

От слова *scale* — масштаб. *Прим. перев.*

Описанный эффект называется асимптотической свободой: чем больше расстояние между кварками, тем больше и сила, притягивающая их, и наоборот. *Асимптотически*, при уменьшении расстояния между кварками до нуля, эти кварки должны стать *свободными. Прим. науч. ред.*

167

Фейнман считал, что если вы не можете объяснить пятилетнему ребенку, чем вы занимаетесь, значит, вы не понимаете, что делаете. *Прим. науч. ред.*

Соавтор сценария фильма «Интерстеллар». *Прим. науч. ред.*

Они объединяются в электрослабое взаимодействие. *Прим. науч. ред.*

170

Главное действующее лицо романа Джерома Д. Сэлинджера «Над пропастью во ржи», ставшее символом юношеского бунта и нонконформизма.

171

Крупнейшая в истории США атомная катастрофа, которая произошла 28 марта 1979 года; в ходе аварии расплавилось 50 % активной зоны реактора, а территория АЭС подверглась значительному радиационному загрязнению. Однако уровень радиации для населения и окружающей среды был признан незначительным.

172

Крупнейшая в современной истории техногенная катастрофа на американском заводе пестицидов *Union Carbide* в индийском городе Бхопале, унесшая жизни 18 тысяч человек (3000 погибли в день катастрофы; 15 000 — из-за ее последствий). В результате аварии в атмосферу было выброшено более 42 тонн токсичных паров.

173

Лаплас был ярым сторонником детерминизма, то есть предопределенности, предсказуемости: он считал, что, зная закон, по которому изменяется система, и начальные условия, можно определить состояние системы в любой момент времени. Однако квантовая механика показала фундаментальную случайность природы. *Прим. науч. ред*.